

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2021

Marek Raška



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

LABORATORNÍ MODEL PRO SIMULACI ŘÍZENÍ JEDNODUCHÉHO TECHNOLOGICKÉHO PROCESU

LABORATORY MODEL FOR SIMULATION OF CONTROL OF SIMPLE TECHNOLOGICAL
PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Raška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Marek Raška

Ročník: 3

NÁZEV TÉMATU:

ID: 195689

Akademický rok: 2020/21

Laboratorní model pro simulaci řízení jednoduchého technologického procesu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout a implementovat vzorovou laboratorní úlohu pro demonstraci řízení jednoduchého technologického procesu s využitím fyzického simulátoru základních dynamických systémů připojitelného na vstupy/výstupy vybraného průmyslového řídicího systému (ŘS).

1. Seznamte se s přípravkem – simulátorem základních dynamických systémů, a popište jeho výchozí koncepci.
2. Navrhněte vhodné úpravy a ty následně realizujte (upravte schéma DPS, realizujte DPS, osadte a oživte).
3. Připojte výsledné zařízení na vstupy/výstupy ŘS a otestujte jeho funkčnost.
4. Vyberte vhodný technologický proces (nebo jeho část) využitelný pro demonstraci jeho řízení v rámci laboratorní výuky a tento proces popište.
5. Pro danou úlohu implementujte řízení do ŘS.
6. Vytvořte vizualizaci.
7. Sepište zadání vzorové laboratorní úlohy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

PUNČOCHÁŘ, Josef. Operační zesilovače v elektronice. 5. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-730-0059-8.

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

Obsah

Seznam zkratk	6
Seznam tabulek	8
1. Úvod	11
2. Simulátor základních dynamických systémů	12
2.1. Blokové schéma	12
2.2. Obvodové řešení	13
3. Simulace v MicroCAP	14
4. Vylepšení existující desky	18
4.1. Výstupní kondenzátory pro DC/DC měnič	18
4.2. Výběr výstupů a rozložení DPS	19
4.3. Sledovače saturace	19
4.4. Výpustě saturace	20
4.5. Diagnostické zařízení	21
5. Tvorba a testování DPS	22
5.1. Návrh v programu Autodesk Eagle	22
5.2. Osazení DPS	24
5.3. Testování DPS v programu ControlWeb 8	25
5.4. Návod k použití simulátoru	25
6. Technologický proces ohřevu a dodávky teplé vody do pivovaru z nádrží teplé vody	27
6.1. Popis standardní produkce	27
6.2. Fáze a subfáze standardní produkce	29
6.2.1. Fáze – Přípravná	29
6.2.2. Fáze – Aktivní	29
6.2.3. Subfáze - Připraveno	30
6.2.4. Subfáze - Plnění	30
6.2.5. Subfáze - Ohřev	31
6.3. Globální výjimky a interlocky	32
7. Zjednodušení technologického procesu pro laboratorní výuku	33
7.1. Stavový automat simulovaného procesu WWT	34
8. Vytváření simulace v aplikaci ControlWeb 8	35
8.1. Založení aplikace	35
8.2. Tvorba proměnných v Datovém editoru	36

8.3.	Tvorba simulace v Grafickém editoru.....	37
8.4.	Programování procedur.....	38
9.	Propojení fyzického simulátoru s ControlWeb 8 pomocí periférie DataLab I/O	39
9.1.	Ovladače	39
9.2.	Kanály	40
9.3.	Standardizace a destandardizace vstupních/výstupních veličin	41
10.	Vzorová laboratorní úloha s řešením.....	42
10.1.	Popis procesu	42
10.2.	Funkční popis	42
10.3.	Funkční vizualizace.....	43
10.4.	Pokyny a upřesnění zadání	43
10.5.	Řešení.....	45
11.	Závěr.....	46
	Literatura.....	47
	Seznam příloh.....	48

Seznam zkratek

FEKT - Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

VUT - Vysoké učení technické v Brně

UAMT - Ústav automatizace a měřicí techniky

DPS - Deska plošných spojů

OZ - Operační zesilovač

LDO - Low dropout (nízký úbytek)

GND - Ground (uzemnění)

WWT - Warm Water Tank – Nádrž na teplou vodu

CWT - Cold Water Tank – Nádrž na studenou vodu

MBR - Main Boiler Room – Hlavní kotelna

Seznam obrázků

Obrázek 1: Blokový diagram Simulátoru základních dynamických systémů	12
Obrázek 2: Program MicroCAP.....	14
Obrázek 3: Nastavení Transient Analysis Limits programu MicroCAP.....	15
Obrázek 4: Výsledek simulace s průměrnými hodnotami	15
Obrázek 5: Výsledek simulace s minimálními hodnotami PT2	16
Obrázek 6: Výsledek simulace s maximálními hodnotami.....	17
Obrázek 7: Zapojení DC/DC měniče	18
Obrázek 8: Změněný blokový diagram modelu	19
Obrázek 9: Zapojení komparátoru napětí.....	20
Obrázek 10: Konektor CANON na kabel, vidlice přímá, 9 pinů	21
Obrázek 11: Neosazená DPS Top	23
Obrázek 12: Neosazená DPS Bottom	23
Obrázek 13: Osazená DPS Top	24
Obrázek 14: Osazená DPS Bottom	24
Obrázek 15: Graf zapojení 1-11.....	25
Obrázek 16: Rozložení ovládacích prvků.....	26
Obrázek 17: Stavový automat simulovaného procesu	34
Obrázek 18: Simulace v Grafickém editoru.....	37
Obrázek 19: Přidání periférie DataLab IO/USB do aplikace ControlWeb 8	39
Obrázek 20: Výběr parametrického souboru v aplikaci ControlWeb 8	40
Obrázek 21: Nastavení kanálu v aplikaci ControlWeb 8	40
Obrázek 22: Systém ohřevu a distribuce teplé vody.....	43
Obrázek 23: Nastavení přístroje chart	44
Obrázek 24: Přechodová charakteristika systému	44
Obrázek 25: Nastavení "on-off" regulátoru	45
Obrázek 26: Přechodová charakteristika "on-off" regulátoru	45
Obrázek 27: Systém ohřevu a distribuce teplé vody.....	53
Obrázek 28: Nastavení přístroje chart	54
Obrázek 29: Přechodová charakteristika systému.....	54

Seznam tabulek

Tabulka 1: Zapojení pinů na vidlici	21
Tabulka 2: Vysvětlivka přepínačů	25
Tabulka 3: Vysvětlivka Jumperů	26
Tabulka 4: Vysvětlivka otočné přepínače	26
Tabulka 5: Parametry fáze - Aktivní	29
Tabulka 6: Parametry subfáze - Plnění	30
Tabulka 7: Parametry subfáze - Ohřev	31
Tabulka 8: Skalární proměnné	36
Tabulka 9: Pole proměnných	36

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je vylepšení vytvořeného fyzického simulátoru základních dynamických systémů a výběr vhodného technologického procesu k demonstraci simulace, řízení a vizualizace v rámci laboratorní výuky se vzorovou laboratorní úlohou. Výsledkem je vylepšený simulátor využitý k simulování technologického procesu za použití programovací struktury a vizualizace aplikace ControlWeb 8 a vstupně/výstupní periférie DataLab IO/USB.

Klíčová slova

Technologický proces, model, ControlWeb, Datalab, soft PLC, vizualizace

Abstract

The subject of this bachelor's thesis is the improvement of the physical simulator of basic dynamic systems and the selection of suitable technological process to demonstrate simulation, control and visualization in laboratory teachings with a sample laboratory task. The result is an improved simulator used in the simulating of technological process using the programming structure and visualization of ControlWeb 8 application and input/output peripheral Datalab IO/USB.

Keywords

Technological process, model, ControlWeb, Datalab, soft PLC, visualization

Bibliografická citace

RAŠKA, Marek. *Laboratorní model pro simulaci řízení jednoduchého technologického procesu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134796>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Miroslav Jirgl.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Laboratorní model pro simulaci řízení jednoduchého technologického procesu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI., díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 24. května 2021

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Jirglovi Ph.D. za trpělivost, pochopení a hlavně dostupnost vzdálené rady za karanténního stavu při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 24. května 2021

.....
podpis autora

1. Úvod

Téma své bakalářské práce jsem si vybral na základě svých zkušeností a zájmu v oboru automatizace technologických procesů na platformě PLC, které jsem získal na praxi ve firmě B:TECH, a.s., kde jsem za bakalářského studia působil jako softwarový specialista se zaměřením na vizualizaci technologických procesů. Zároveň jsem si chtěl vyzkoušet aplikaci nově získaných poznatků při navrhování a realizování DPS.

Tato práce je koncepčně vytvořena na předešlé práci pana Stanislava Pacala, pod vedením Ing. Miroslava Jirgla, Ph.D., který je zároveň vedoucím i této práce.

Cílem této práce je rozšíření použitelnosti fyzického simulátoru základních dynamických systémů v laboratoři a eliminování možné nalezené chyby z původním návrhu a provedení tak, aby byl výsledný simulátor použitelný v laboratořích pro studenty VUT FEKT, spadající pod UAMT nebo k jinému laboratornímu využití.

Podmínkou této práce je výběr vhodného technologického procesu pro demonstraci nově vylepšeného simulátoru technologického procesu z praxe, na kterém by se studenti zabývající se problematikou PLC a řízení mohli naučit základům obou problematik na jednoduché laboratorní úloze, simulující daný technologický proces. Tento technologický proces by měl být zároveň ilustrativní pro studenty studující předměty Prostředky průmyslové automatizace.

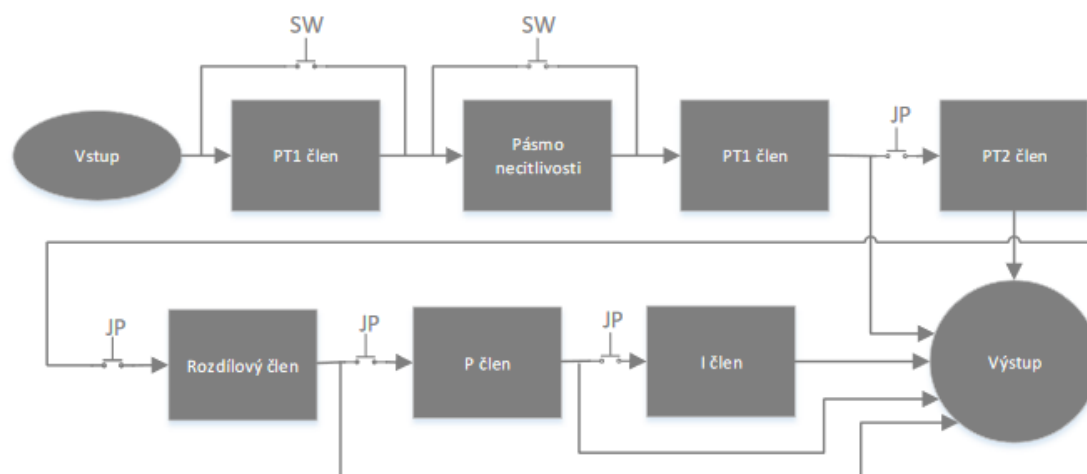
2. Simulátor základních dynamických systémů

Jak název napovídá, jedná se o DPS pro simulaci jednoduchých technologických procesů, která je vybavena obvody s nastavitelnými parametry s velkou škálou dynamiky. Simulované obvody jsou zjednodušeny na jejich výstup, a protože v praxi časové konstanty systému jsou velmi dlouhé, v řádech minut až hodin, nejsou proto vhodné pro laboratorní použití, a tak jsou omezeny na jednotky sekund.

2.1. Blokové schéma

Blokové schéma se neliší od předchozího vývoje. Mění se provedení zapojení a diagnostiky samostatné DPS.

- PT1 člen: – Simulace například dynamiky čidla
- Pásmo necitlivosti: – Simulace například okolní teploty
- PT1 člen: – Simulace dynamiky systémů prvního řádu, analogicky nastavitelné parametry společně se simulací poruchy
- PT2 člen – Simulace dynamiky systémů druhého řádu, analogicky nastavitelné parametry společně se simulací poruchy
- I člen – Simulující systém bez samostatné regulace s nastavitelnými parametry
- P člen – Simulace nastavitelného zesílení systému
- Rozdílový člen – Simulace poruchy působící na systém



Obrázek 1: Blokový diagram Simulátoru základních dynamických systémů

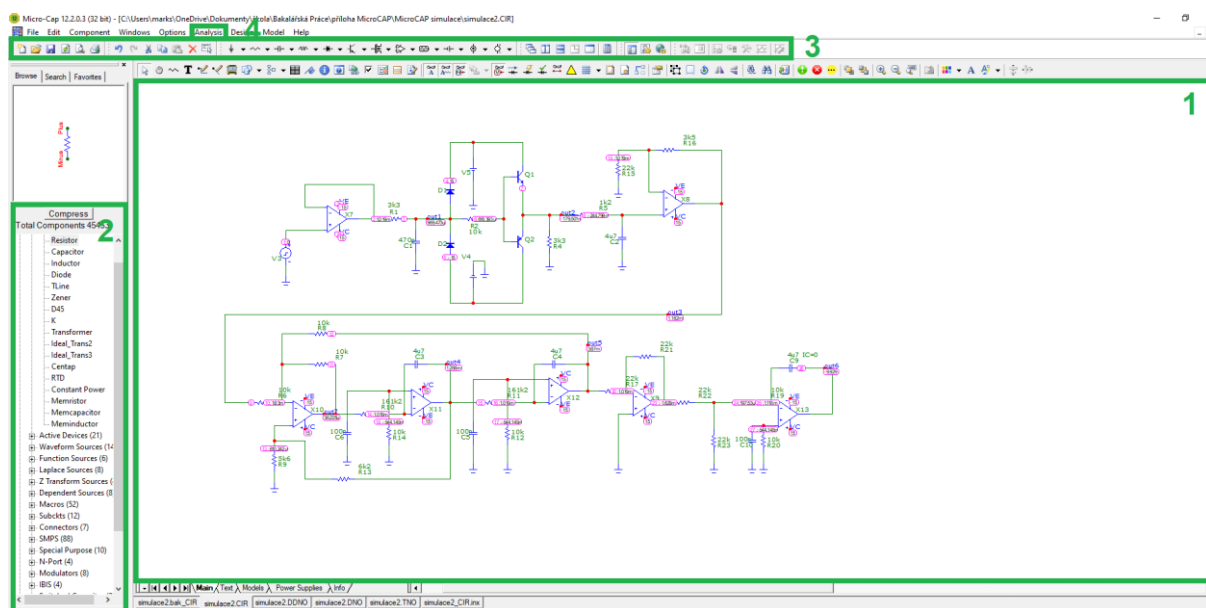
Řešení propojení jednotlivých členů v blokovém schématu bude provedeno jinak oproti řešení, které je uvedeno na obrázku 1, ale základní koncepce bude stejná. Pořadí jednotlivých členů nebude změněno, protože jeho funkce je ověřena a bylo shledáno, že není chybná a nemusí být tedy měněna.

2.2. Obvodové řešení

Řešení jednotlivých bloků je realizováno na desce popsáním způsobem, změny jsou provedeny v zájmu použitelnosti přípravku, ale samotné bloky nemají žádné vady, jen při jejich propojení nastávají některé problémy, které budou v následujících kapitolách vysvětleny a vyřešeny.

3. Simulace v MicroCAP

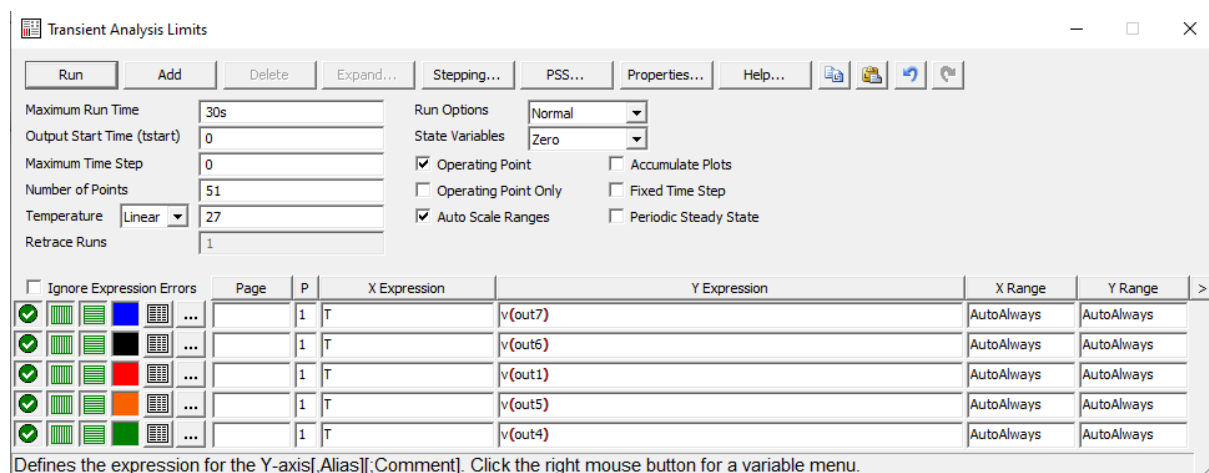
Program MicroCAP softwarově najde v zapojení kritické stavy, které v něm mohou nastat. Tyto stavy negativně ovlivňují naše laboratorní výsledky, a pokud o nich nebudeme vědět nebo je přímo v na DPS eliminujeme, tak nemůžeme simulaci systémů považovat za úspěšnou. Nejlépe by bylo je odstranit, ale některé z těchto kritických stavů jsou dané v zapojení, které používáme při simulacích systémů jako je například integrační článek. Proto se ve vylepšení desky vyskytují LED zobrazovače saturace operačních zesilovačů.



Obrázek 2: Program MicroCAP

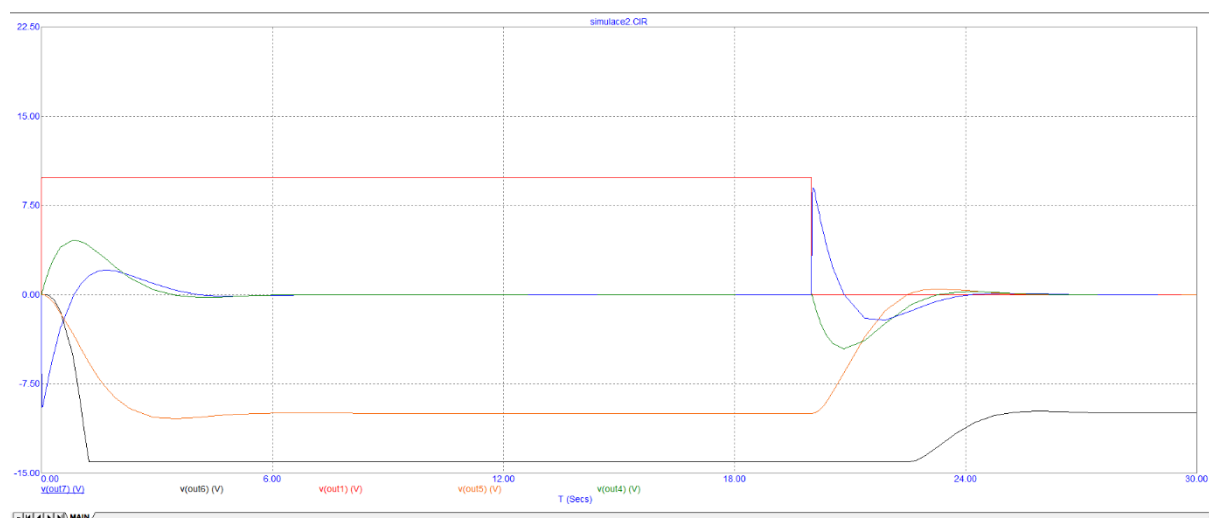
1. Plocha kreslení schématu. Na schéma je možno přidat vlastní výstupní body pro měření výstupů. Zde jsou označeny jako out1-out7. Tyto výstupy mohou být použity při analýze signálu.
2. Tato část obsahuje samotné součástky, které lze přidat. Součástky mají mnoho nastavení upravujících jejich charakteristiky, jak dynamické, tak statické. Nejlépe je nastavovat hodnoty stejné jako u součástek vybraných na použití v DPS.
3. Rychlé výběrové menu, ve kterém se nachází časté a užitečné příkazy.
4. Samostatná analýza, která sleduje jednotlivé kritické body zapojení.

Použijeme Transient Analysis Limits na výstupy, které jsou teoreticky nejvíce náchylné k saturaci.



Obrázek 3: Nastavení Transient Analysis Limits programu MicroCAP

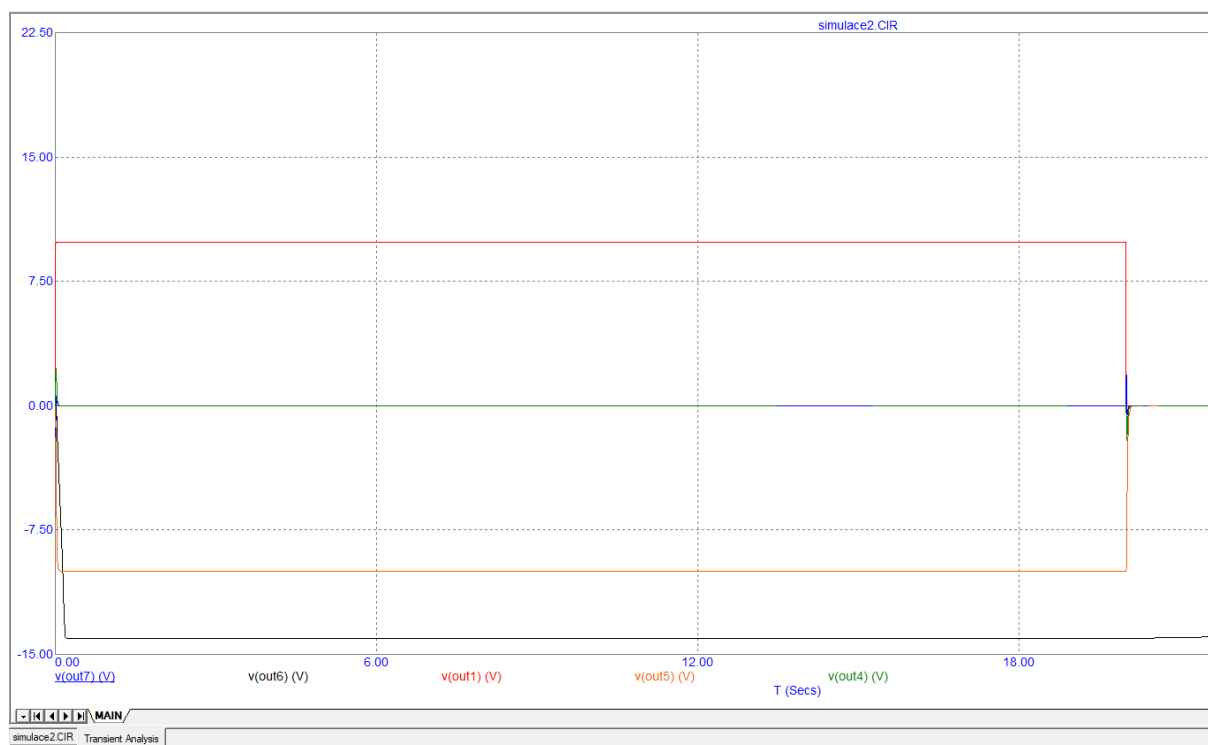
Zjistíme, že stavu saturace dosáhne hlavně Integrační člen, ostatní členy by tohoto stavu neměly dosáhnout s výjimkou členu PT2, ve kterém by mohla existuje kombinace parametrů mající za důsledek saturaci.



Obrázek 4: Výsledek simulace s průměrnými hodnotami

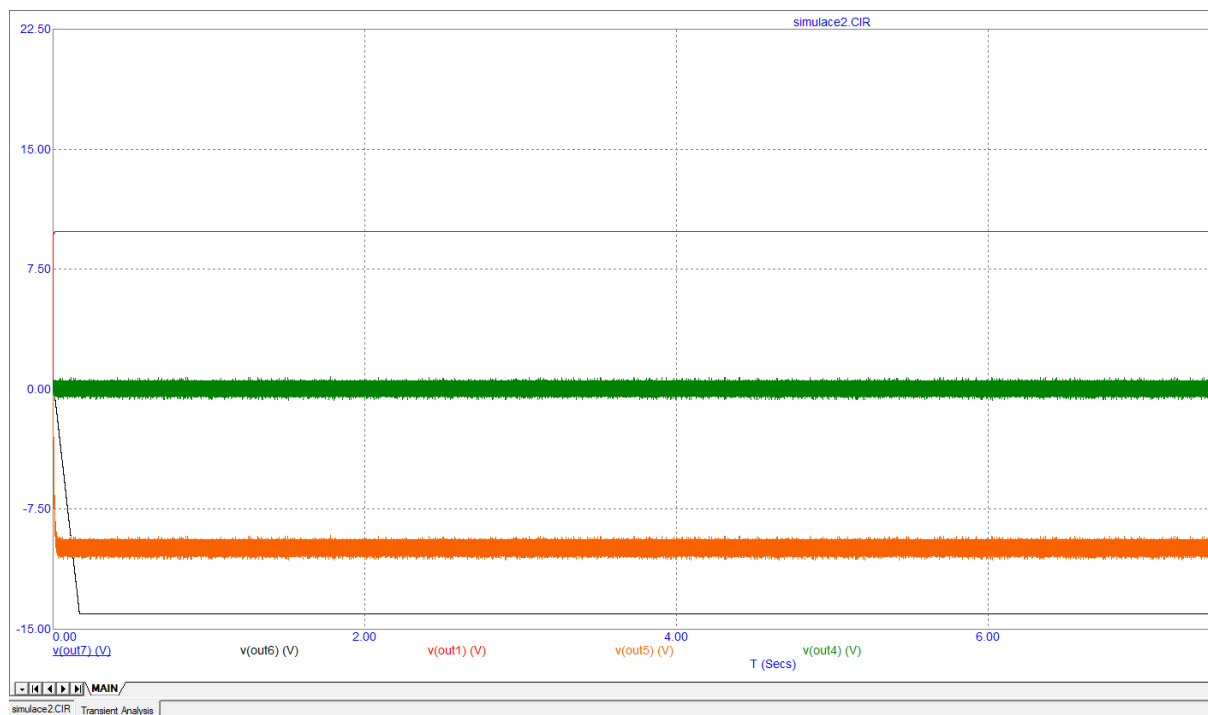
S průměrnými hodnotami vidíme, že saturuje pouze Integrační článek V(out6), u kterého jsme to předpokládali, ale článek PT2 (V(out4) je první operační zesilovač, V(out5) je výchozí operační zesilovač) vypadá, že je zpětnou vazbou omezen na vstupní napětí 10V, které není jeho saturační napětí, neboť saturační napětí operačního zesilovače je 13,5V. V dalším příkladu využijeme maximálně dosažitelné hodnoty na desce v dané konfiguraci. To znamená, že na každém otočném přepínači je přímý výstup bez přídavného odporu, díky kterému má

minimální dobu náběhu. Odpory mezi operačními zesilovači jsou pouze ty, které jsou konstantně dané, aby nebyl signál zesílen příliš a nesaturoval i operační zesilovač, který by nemělo teoreticky být možné saturovat (např.: otáčení fáze nebo nastavovač zesílení).



Obrázek 5: Výsledek simulace s minimálními hodnotami PT2

Ani s minimálními hodnotami odporů se nám nepovedlo saturovat PT2 člen. V tomto případě jsme pouze rozkmitali výchozí operační zesilovač V(out5) a dosáhli jsme pouze rychlejší saturace integračního článku.



Obrázek 6: Výsledek simulace s maximálními hodnotami

Pokus saturovat maximální hodnotou odporů také selhal. I když se první i výchozí operační zesilovač rozkmitaly, nemělo to dostatečný vliv na dosažení saturace. Z těchto simulací byla potvrzena pouze saturace integračního článku, z čehož vyplynula jeho následná úprava - přidání sledovače saturace a přidání výpustě saturace.

4. Vylepšení existující desky

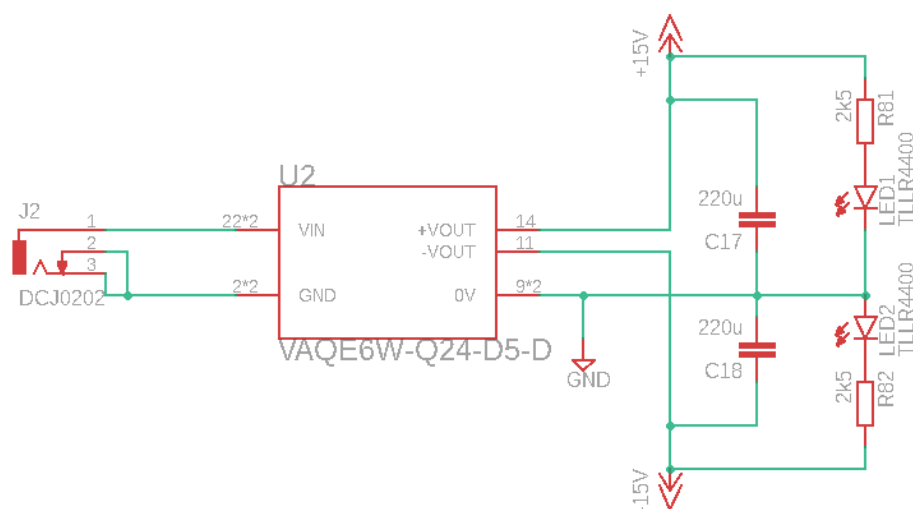
Hlavním úkolem této práce je zjištění nedostatků existujícího simulátoru a jeho následný vývoj, směřující k modelu využitelného k výuce předmětů zaměřených na prostředky průmyslové automatizace. Simulátor jako takový je těchto funkcí již schopný, ale bylo zjištěno, v první fázi navazujícího vývoje, několik nedostatků a následně vyvinuto pět vylepšení, které usnadňují jeho použití, další rozšíření nebo následný vývoj.

Vylepšení jsou rozdělena do dvou částí. První spočívá ve vylepšení robustnosti celého systému přidáním další vrstvy ochranných a funkčních prvků. Druhá část spočívá v propojení s budoucím diagnostickým zařízením pomocí nově vytvořeného připojení i sebediagnostiky zařízení sledovačem saturace operačního zesilovače.

4.1. Výstupní kondenzátory pro DC/DC měnič

V dnešní době téměř neexistuje spotřební, průmyslové či lékařské elektronické zařízení bez napěťového regulátoru. Využívají se dva druhy regulátorů používané ke snížení napětí na použitelnou hodnotu pro DPS: lineární stabilizátory LDO a spínané DC/DC měniče. V našem případě používáme spínaný DC/DC konvertor s přidánými kondenzátory zajišťujícími stabilitu výstupního napětí pro naše operační zesilovače. Tento test byl vytvořen pro notebookové zdroje a pro naše účely postačí. Notebookové zdroje mají větší testovací nároky, než jsou nároky na náš zdroj pro naši DPS, a to hlavně v průchozích proudcích. Těch odebíráme podstatně méně, a to maximálně v desítkách mA.

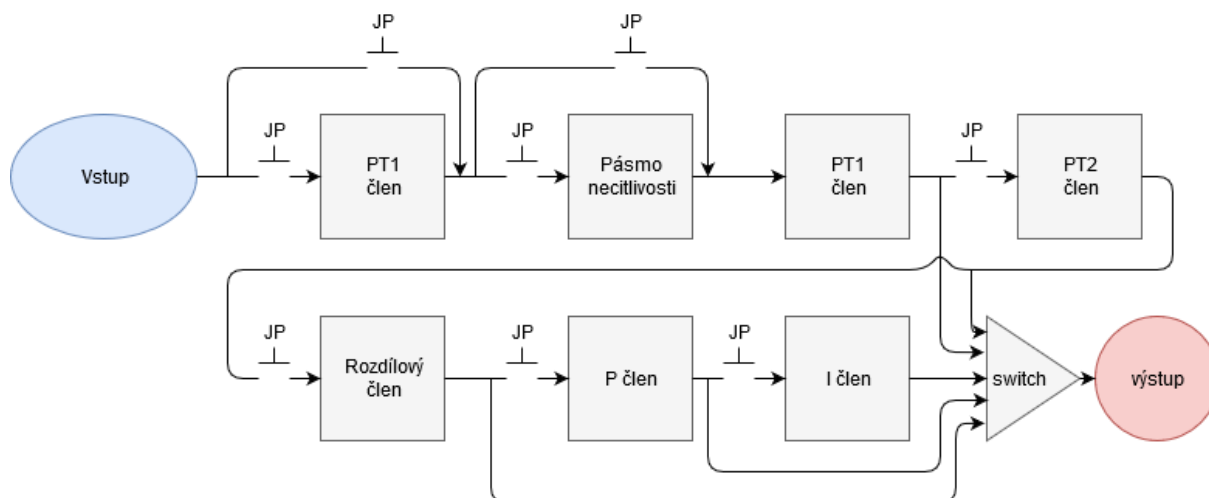
Naše operační zesilovače odebírají desítky mA při největším zatížení (podle Datasheetu) a přijímají stabilní napětí +15 V z použitého DC/DC měniče. Tato stabilita je dostatečně zajištěna použitím dvou hliníkových kondenzátorů o velikosti kapacity 220 μ F mezi větvemi +15 V a GND a -15 V a GND, které stačí na ochranu před stejnosměrným přepětím a jakýmkoliv teplotními změnami v laboratoři.



Obrázek 7: Zapojení DC/DC měniče

4.2. Výběr výstupů a rozložení DPS

Výstup a rozložení DPS bylo změněno oproti původnímu rozložení (viz. obrázek 15).



Obrázek 8: Změněný blokový diagram modelu

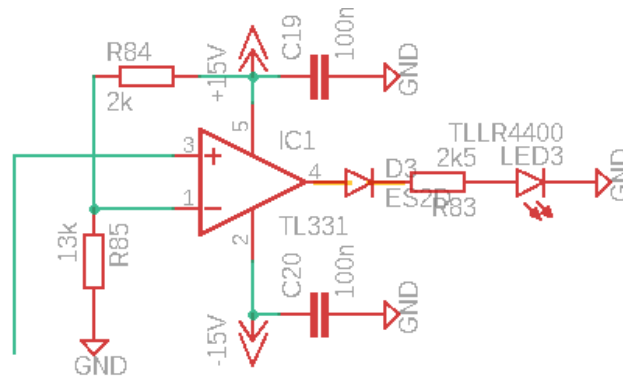
Switche byly vyměněny za 3-way jumpery, které vydrží delší dobu používání. Při jejich poškození jsou daleko jednodušeji nahraditelné než switche. Další změna je u výstupního signálu odváděného ze zařízení. Místo původních šesti vývodů, pro každý typ zapojení, zůstal pouze jeden s otočným přepínačem, který zajišťuje připojení k jakémukoliv výstupnímu členu. Rozložení modelu bylo upraveno tak, aby všechny součástky přímo nepoužívané uživatelem, jako jsou například odpory a operační zesilovače, byly skryty na spodní straně desky. Toto řešení zajistí dlouhodobou životnost DPS a jeho lepší vzhled. Dále byly použity širší spoje o velikosti 0.4 mm a větší silové spoje o velikosti 1.4 mm, aby byl zmenšen vliv změny napětí na šum v obvodu. Plocha byla vylita mědí v souladu se standardem vedení uzemnění GND.

4.3. Sledovače saturace

Teoreticky bylo zvažováno mnoho možností, jak by mohly být realizovány sledovače saturace. V této podkapitole budeme posuzovat jednotlivé výhody a nevýhody každého řešení.

- LED světlo zapojené přes Zenerovu diodu - toto řešení je zdánlivě nejjednodušší, ale je nepoužitelné pro tuto aplikaci. Zenerova dioda by po průrazu sama odebírala napětí z výstupu a zkreslovala by výsledky jako samotná saturace. Pro naši aplikaci je toto řešení nevhodné.
- Ukazatel nabití baterie - toto řešení je nejkomplexnější. Jedná se o kaskádu Zenerových diod s displejem přímé saturace, který ukazuje na kolika procentech saturace se operační zesilovač nachází, a to podle řady LED diod. Toto řešení trpí na stejné potíže jako minulé řešení a bylo rozhodnuto, že je zbytečné ukazovat částečné zasycení, neboť neovlivňuje výchozí hodnoty.

- Operační zesilovač v komparátorovém zapojení - toto řešení jako jediné splňuje podmínku neovlivnění výchozího signálu. Je použit dělič napětí pro invertující pól ze zdroje napětí, aby byla nastavena požadovaná hodnota napětí saturace, která je 13 V podle datasheetu operačního zesilovače ADA4522.



Obrázek 9: Zapojení komparátoru napětí

$$U_{cc} \cdot \frac{R85}{R85 + R84} = U_v$$

$$15V \cdot \frac{13K}{13K + 2K} = 13V$$

- U_{cc} je pozitivní vstupní napětí na operačním zesilovači +15 V
- Odpor jsou zapojeny jako napěťového děliče, který dělí vstupní napětí na +13 V na našem napěťovém vstupu do operačního zesilovače
- Operační zesilovač porovnává napětí z integračního članku oproti +13 V. Pokud je napětí menší, nic se neděje, ale pokud přesáhne +13 V, rozsvítí se LED dioda.

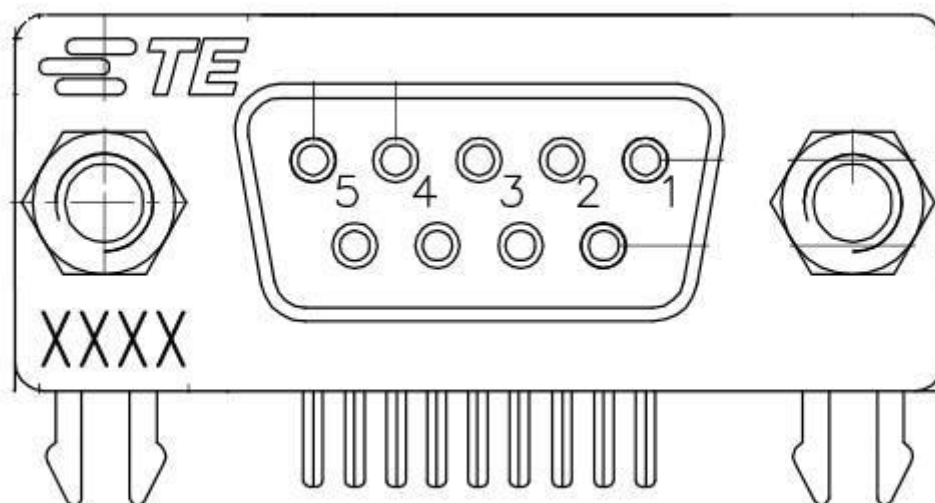
K maximální saturaci dojde při +13,5 V. Okamžik, kdy operační zesilovač začne saturovat, signalizuje LED dioda rozsvícením.

4.4. Výpustě saturace

Je známo, že saturace operačního zesilovače integračního členu stoupá, když je i není zapojen do právě používaného obvodu. Proto k použití integračního členu je potřeba výpust saturace, která je tvořena jumperem skratujícím kondenzátor, který zajišťuje vybití saturace.

4.5. Diagnostické zařízení

Ze všech výstupních signálů bylo vytvořeno zapojení na canon-9 pinový konektor, který bude sloužit jako rozhraní mezi deskou a budoucím diagnostickým zařízením, se schopností sledování všech použitých i nepoužitých operačních zesilovačů za běhu funkce.



Obrázek 10: Konektor CANON na kabel, vidlice přímá, 9 pinů

Zapojení na piny je následující:

Tabulka 1: Zapojení pinů na vidlici

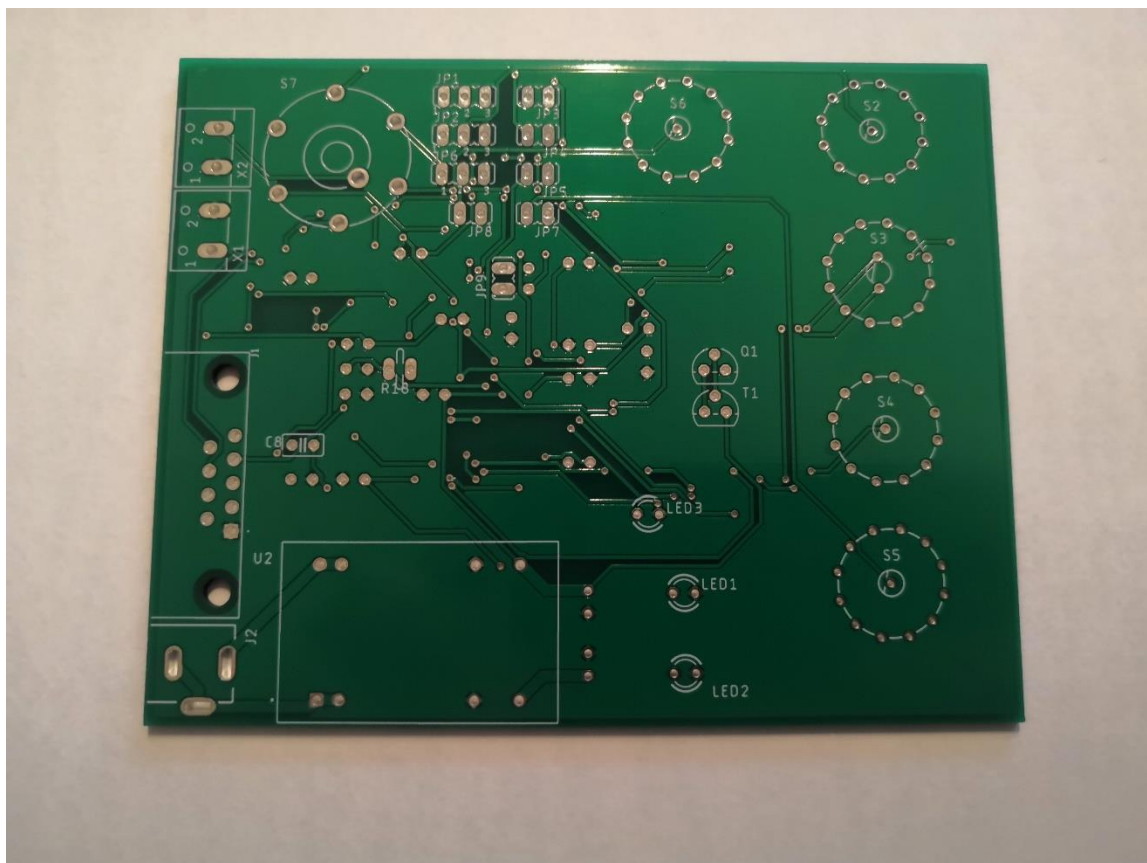
Pin	Zapojení	Standartní barevné rozdělení v kabelu
1	GND	Černá
2	U1A (první OZ)	Hnědá
3	U1B (PT1 člen)	Červená
4	U2A (první OZ PT2 členu)	Oranžová
5	U2B (druhý OZ PT2 členu)	Žlutá
6	U3A (výstup PT2 členu)	Zelená
7	U4A (Invertovaný PT2 výstup)	Modrá
8	U4B (P člen)	Fialová
9	U3B (I člen)	Šedá

5. Tvorba a testování DPS

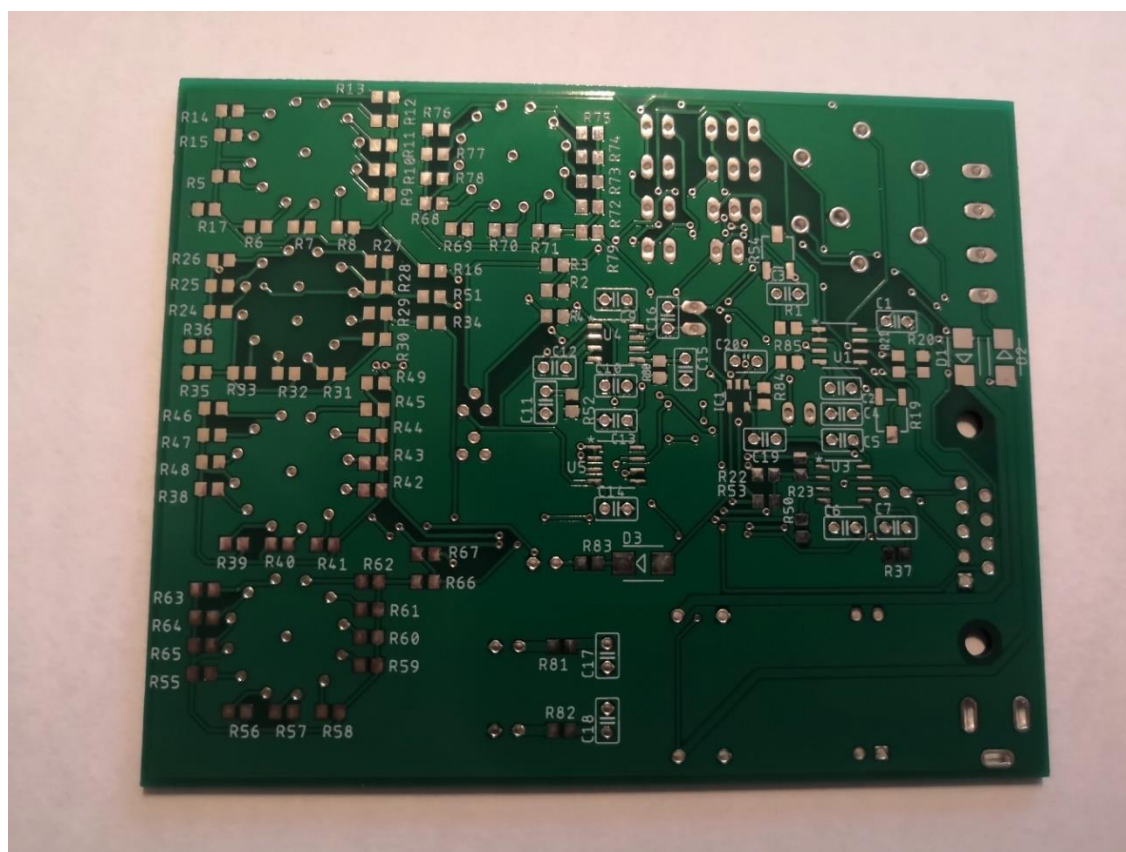
V této kapitole je diskutováno o přílohách jedna a dvě: schématického zapojení v aplikaci Autodesk Eagle, půdorysu desky fyzického simulátoru v Autodesk Eagle a dále také samotné reálné zpracování desky. Další podkapitola bude věnována testování a návodu k použití tohoto fyzického simulátoru.

5.1. Návrh v programu Autodesk Eagle

Oproti původnímu návrhu vyhotoveném v programu KiCAD, tato DPS byla vytvořena v prostředí Eagle a poté převedena do programu Autodesk Fusion360, kde je možná budoucí práce s 3D prvky (například 3D tisk krabičky pro simulátor). Schématická část je upravená dle zadání a byli na ní dodrženy všechny zásady standartu IPC-2221. Toto schéma lze vidět v příloze jedna. V deskové části je využito techniky „rozlitého“ uzemnění, které by mělo snížit jakékoliv rušení signálu způsobené napěťovými rázy procházející uzemněním DC-DC měniče. Součástky potřebné k ovládání simulátoru byli seskupeny na Top – „horní“ straně návrhu do co nejvíce ergonomických poloh. Naopak všechny součástky nevyužívané k ovládání byli umístěny do Bottom – spodní strany DPS. DPS byla vypracována na zakázku ve specializované firmě.



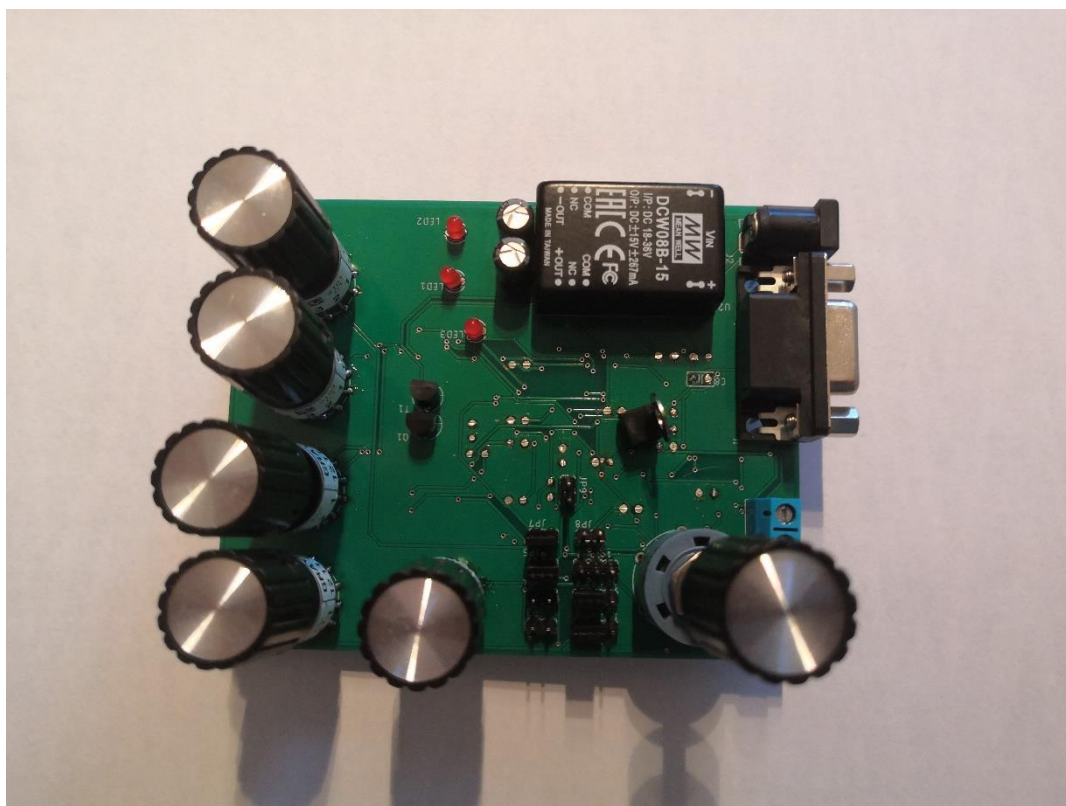
Obrázek 11: Neosazená DPS Top



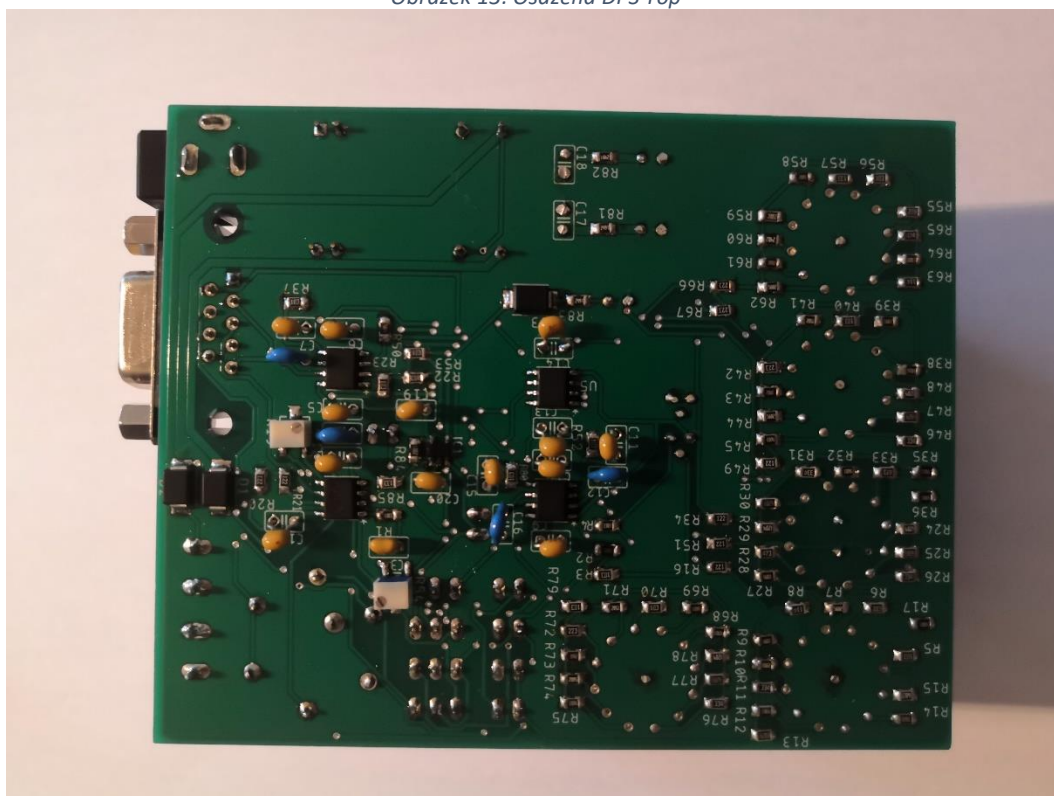
Obrázek 12: Neosazená DPS Bottom

5.2. Osazení DPS

Proces osazení desky byl proveden autorem projektu ručně za pomoci pájecí stanice, horkovzdušné stanice, Flux pasty a cínu o průměru 0,5mm.



Obrázek 13: Osazená DPS Top



Obrázek 14: Osazená DPS Bottom

5.3. Testování DPS v programu ControlWeb 8

Testování jednotlivých nastavení simulátoru bylo provedeno v programu ControlWeb 8, pomocí přípravku DataLab IO bylo skokem na vstup přivedeno +10 V. Měřeny byly reakce v časovém rozmezí 20 sekund, při kroku 0,1 sekundy. Všechny grafy jsou k nahlédnutí v příloze 6.



Obrázek 15: Graf zapojení 1-11

5.4. Návod k použití simulátoru

Z návrhu je známo, že simulátor má mnoho nastavení. V této podkapitole bude vysvětleno, jak můžeme jednotlivých nastavení dosáhnout. První jsou přepínače, které jsou zapojeny vždy a to buď v polohách 1,2 nebo 2,3

Tabulka 2: Vysvětlivka přepínačů

Jumper	Zapojení 1,2	Zapojení 2,3
JP1	Přímé zapojení	Zapojení přes RC článek
JP2	S pásmem necitlivosti	Přímé zapojení
JP6	Přímé zapojení	Zapojení s Trimmerem

Další Jsou volitelné jumpery, které mají na starost průtok signálu systémem a dávají mu odlišné vlastnosti závislé na jejich zapojení.

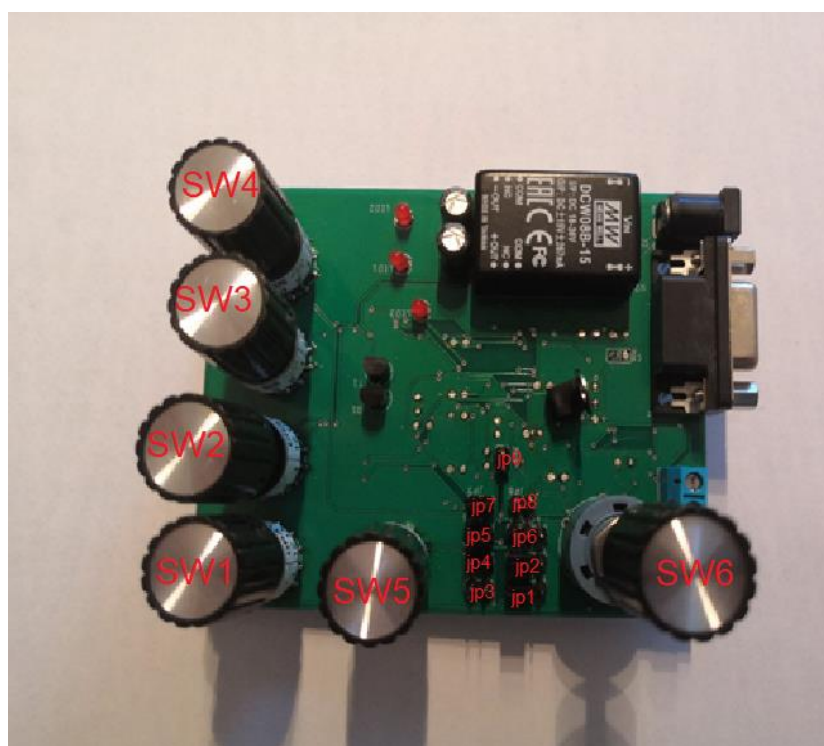
Tabulka 3: Vysvětlivka Jumperů

Jumper	Zapojen
JP3	Termistor zapojen
JP4	Trimmer zapojen
JP5	Zapojení OZ 5,6,7 a 8
JP7	Zapojení P členu
JP8	Zapojení I členu
JP9	Nulování I členu

Poslední jsou otočné přepínače, ty mají úlohu nastavení našich výchozích křivek nebo výstupního signálu.

Tabulka 4: Vysvětlivka otočné přepínače

Otočný přepínač	Vlastnost	Rozsah
SW1	Rychlost náběhu PT1 členu	10K -1,2M Ω
SW2	Rychlost náběhu PT2 členu	47K -1,2M Ω
SW3	Rychlost zpětné vazby PT2 členu	4,7K-1,2M Ω
SW4	Velikost P členu	8,2K-470K Ω
SW5	Rychlost náběhu I členu	4,7K-1,2M Ω
SW6	Výběr členů na výstupním signálu	PT1, PT2, Rozdílový člen, P a I



Obrázek 16: Rozložení ovládacích prvků

6. Technologický proces ohřevu a dodávky teplé vody do pivovaru z nádrží teplé vody

Jedná se o reálný technologický proces, využívaný firmou B:TECH, a.s., jejíž předmětem činnosti je automatizace výrobních procesů. Tento technologický proces zajišťuje výrobu a dodávku teplé vody do pivovaru, která se poté využívá v několika výrobních procesech, například čištění trubek, ohřev a doplňování vody ve výrobně kvasinek a k dalším účelům. Tato studie je zjednodušenou verzí výrobního procesu a nebude se zabývat specifickým zapojením v provozu, nýbrž obecným použitím tepelných nádrží v mnoha provozech, označovaný jako obecný model ohřevu a dodávky teplé vody.

6.1. Popis standardní produkce

Nádrž na teplou vodu zásobuje produkční proces pivovaru teplou vodou, a to čistou vodou bez příměsí. Po nahlátí požadovaného objemu vody na požadovanou teplotu je ukončena fáze náběhu této části pivovaru a stavový ukazatel signalizuje „teplá voda pro pivovar připravena“. Množství nahláté vody je vyšší než při provozu pivovaru. To umožňuje dostatek teplé vody pro uvedení pivovaru do provozu po předcházející odstávce.

Hadicová vodní čerpadla jsou vypnuta, pokud není žádný vnější požadavek na dodávku teplé vody po nastavený časový interval, aby se předešlo zbytečné spotřebě energie a opotřebování čerpadel. Tento stav nastane pouze tehdy, pokud jsou všechny procesy odebírající teplou vodu monitorovány a jsou v automatickém systému spotřeby teplé vody. Pokud se v systému nachází ruční ventil využívající vodu z tohoto systému teplé vody, tak toto řešení odpadá a celý systém musí být řízen trvale na udržení tlaku odebírané teplé vody. V případě, že není žádný požadavek na teplou vodu, časový spínač ovládající chod čerpadel je zapnut a vypíná čerpadla až po nastaveném uplynutí technologického času, aby se předešlo zbytečnému zapínání a vypínání čerpadel v případě, že by tlak v systému kmital kolem nastaveného tlaku v ovládání tlakového spínače. Čerpadla jsou vypnuta ve fázi „Přípravná“.

Doplňování vody – Aby se zajistilo, že je vždy dostatek teplé vody, je úroveň hladiny v nádrži monitorována čidlem. Subfáze plnění je spuštěna, pokud je proměnná – nastavená úroveň vody hladiny v nádrži „spustit plnění“ větší, než je aktuální stav hladiny, a je ukončena v době, kdy aktuální stav dosáhne proměnné – nastavené úrovně hladiny „zastavit plnění“.

Řízení tlaku – Je důležité dodržet požadovaný a konstantní tlak. Proto jsou čerpadla zapojena paralelně, jedno čerpadlo je řízeno frekvenčně (VSD) a udržuje tlak vody v systému, zatím co druhé čerpadlo dodává stálý objem vody o konstantním tlaku. V případě dosažení přednastavené hodnoty výkonu frekvenčně řízeného čerpadla se zapne sekundární čerpadlo v paralelním chodu k čerpadlu frekvenčně řízenému. Při spuštění sekundárního statického čerpadla frekvenčně řízené čerpadlo sníží dodávaný objem vody na nastavenou hodnotu – snížený výkon po nastavený čas. Po uplynutí tohoto času je řízení tlaku opět aktivováno na frekvenčně řízeném čerpadle. Když je výkon frekvenčně řízeného čerpadla nižší, než je nastavená minimální hodnota, při paralelní funkci se sekundárním statickým čerpadlem, sepne se časovač a po uplynutí nastavené doby vypne sekundární statické čerpadlo. Při vypnutí sekundárního statického čerpadla přejde frekvenčně řízené čerpadlo na horní nastavenou hodnotu výkonu po nastavený čas. Po uplynutí času je řízení v závislosti na tlaku opět spuštěno.

6.2. Fáze a subfáze standardní produkce

6.2.1. Fáze – Přípravná

Když je přípravná fáze spuštěna, tak jsou aktivovány všechny ovladače, analogové vstupní a výstupní signály a digitální vstupní a výstupní signály použité v daném systému – „nádrž na teplou vodu“, a jsou zkontrolovány jejich správné signálové stavy. Chybové signály ze zpětné vazby při prvním spuštění jsou indikovány vizuálně na monitoru řídicího střediska pro operátory systému.

Tato fáze neobsahuje žádné fázové parametry.

Přechod do další fáze nastane za této podmínky

- všechny analogové a digitální signály jsou správně indikovány zpětnou vazbou

6.2.2. Fáze – Aktivní

Fáze Aktivní obsahuje tyto fázové parametry

Tabulka 5: Parametry fáze - Aktivní

Název parametru	Jednotka	Počet desetinných míst
Tlak teplovodního čerpadla 1	bar	X.X
Tlak teplovodního čerpadla 2	bar	X.X
Spustit ohřev	°C	XX.X
Zastavit ohřev	°C	XX.X
Prodleva spuštění/zastavení ohřevu	sec	XX
Spustit plnění	hl	XXX
Zastavit plnění	hl	XXX
Zastavit plnění při startu pivovaru	hl	XXX
Prodleva spuštění/zastavení plnění	sec	XX
Prodleva vypnutí teplovodního čerpadla 1	min	XX
Prodleva vypnutí teplovodního čerpadla 2	min	XX
Alarm minimální úrovně	hl	XX
Prodleva alarmu minimální úrovně	sec	XXX
Alarm maximální úrovně	hl	XXX
Prodleva alarmu maximální úrovně	sec	XX

Následující ventily/motory jsou aktivovány

- teplovodní čerpadlo 1 v systému WWT01 ve stavu kontroly tlaku
- teplovodní čerpadlo 2 v systému WWT01 ve stavu kontroly tlaku

6.2.3. Subfáze - Připraveno

Subfáze neobsahuje vlastní parametry, pouze základní parametry z fáze Aktivní.

Přechod do další subfáze nastane pokud

úroveň naplnění nádrže dosáhne hodnoty nižší, než je parametr „spustit plnění“ a zároveň uběhla doba parametru „Prodleva spuštění/zastavení plnění“

nebo

teplota nádrže je menší než parametr „spustit ohřev“ a zároveň uběhla doba parametru „Prodleva spuštění/zastavení ohřevu“

6.2.4. Subfáze - Plnění

Aby se zabránilo přehřátí výměníku tepla, musí být otevřen plnicí vodní ventil. Když čidlo průtoku ve výměníku tepla zjistí vodu, může řídicí systém otevřít parní ventil. Ve výpustném potrubí výměníku tepla je tepelné čidlo, které monitoruje teplotu výstupní vody a řídicí systém ji srovnává s nastavenou teplotou. Průtok vody může být snížen pomocí manuálního ventilu, aby bylo možno doplňování vody do systému o teplotě 80°C. Pro zastavení ohřevu vody se parní ventil uzavře jako první, aby se využila zbytková energie páry v tepelného výměníku. Plnění vody se ukončí po dosažení hodnoty parametru „Zastavit plnění“, při kterém se spustí časovač s nastavenou hodnotou parametru „Prodleva spuštění/zastavení plnění“. Když uplyne nastavený čas, časovač plnění zastaví.

Subfáze obsahuje jeden parametr a všechny zděděné z fáze – Aktivní.

Tabulka 6: Parametry subfáze - Plnění

Název parametru	Jednotka	Počet desetinných míst
Teplota výměníku tepla	°C	XX.X

Následující ventily/motory jsou aktivovány

- blokační ventil páry v systému WWT01
- plnicí ventil vody v systému WWT01
- kontrolní ventil páry v systému WWT01 ve stavu kontroly teploty

Přechod do další subfáze nastane pokud

- úroveň parametru „Zastavit plnění“ je dosažena a čas parametru „Prodleva spuštění/zastavení plnění“ uběhl.

6.2.5. Subfáze - Ohřev

Aby se zabránilo přehřátí výměníku tepla, musí být otevřen plnicí vodní ventil. Když čidlo průtoku ve výměníku tepla zjistí vodu, může řídicí systém otevřít parní ventil. Ve výpustném potrubí výměníku tepla je tepelné čidlo, které monitoruje teplotu výstupní vody a řídicí systém ji srovnává s nastavenou teplotou. Vodní průtok může být snížen pomocí manuálního ventilu. Pro zastavení ohřevu vody se parní ventil uzavře jako první, aby se využila zbytková energie páry v tepelném výměníku. Cirkulace vody probíhá, dokud časovač s parametrem – nastaveným časem „Prodleva spuštění/zastavení ohřevu“ neuplyne.

Subfáze obsahuje jeden parametr a všechny zděděné z fáze – Aktivní.

Tabulka 7: Parametry subfáze - Ohřev

Název parametru	Jednotka	Počet desetinných míst
Teplota převodníku tepla	°C	XX.X

Následující ventily/motory jsou aktivovány

- blokační ventil páry v systému WWT01
- cirkulační ventil v systému WWT01
- řídicí ventil páry v systému WWT01 ve stavu řízení teploty

Přechod do další subfáze nastane pokud:

Parametr nastavené teploty - „Zastavit ohřev“ je dosažen a parametr nastavený čas - „Prodleva spuštění/zastavení ohřevu“ uběhl.

6.3. Globální výjimky a interlocky

Globální výjimky se týkají stavů, ve kterých se může nacházet celý pivovar (nebo jakákoliv továrna či výrobní) a nepocházejí z dané části výroby, tedy systému, v našem případě teplovodní nádrží. Tyto stavy však mohou ovlivnit náš systém a jsou brány jako primární alarmy (lokální jsou až sekundární alarmy). Je to nedostatek vody v hlavních nádržích, nedostatek vodní páry pro ohřev, nedostatečné napětí v elektrické síti pro chod provozu a vyšší protitlak na odběru vody.

Nedostatek vody v hlavních nádržích indikují čidla z CWT (Cold Water Tank – nádrže na studenou vodu), která buď detekují nízký tlak nebo nesepnuté průtokové čidlo. Pokud jakékoliv z čidel zaznamenávají tyto stavy neodešle signál detekující dostatečný systémový tlak nebo průtok, uzavírá se zpětný ventil mechanicky a automatický ventil, který je spřažen neboli interlockován s průtokovými čidly, je uzavřen.

Nedostatek vodní páry z parovodních kotlů lze detekovat z čidel MBR (Main Boiler Room – Hlavní Kotelna), které signalizují nedostatečný tlak nebo teplotu. Někdy se používají i čidla koncentrace kondenzátu. V případě nedostatečné teploty či tlaku je uzavřen hlavní parní ventil tepelného výměníku, aby nedošlo k deformaci ploch výměníku tlakem ohříváné vody. Tento stav může nastat při rozdílech vnitřního a vnějšího tlaku ve výměníku tepla.

Nedostatečné napětí v elektrické síti pro chod provozu je indikován většinou již při prvním spuštění, a to ve fázi přípravné, ve které jsou zkontrolovány všechny signály zpětnou vazbou používaných zařízení.

Přetlak na odběru vody nastává tehdy, když je na výstupu z nádrže teplé vody tlak nižší než v systému teplou vodu spotřebovávajícím. Mechanicky je zajištěno zpětnou klapkou, aby se jakékoliv tekutiny nedostaly ze systému odběru teplé vody zpět do naší nádrže teplé vody. Jedná se například o čisticí kyseliny nebo detergenty. Proto je automatický ventil proti přetlaku interlockován s ventily jednotlivých odběrů, například CIP (Cleaning in Progress – Čištění za Provozu), která využívá teplé vody pro mnoho čisticích cyklů, zároveň s kyselinovým čištěním. Odběry z nádrže teplé vody musí mít neustále menší tlak, než je tlak v nádrži teplé vody.

Interlocky jsou vzájemné spřažení aktuátorů tak, aby byly buď vzájemně otevřeny nebo zavřeny - pozitivně spřaženy nebo negativně spřaženy, když je jeden otevřen, tak je druhý zároveň uzavřen. Ve vnitřní smyčce teplovodní nádrže se nachází několik takovýchto interlocků mezi aktuátory nebo aktuátory a čidly snímajícími vlastnosti provozu.

Ventil vodní páry je interlockován s čidlem průtoku vody tepelného výměníku tak, aby nenastala situace, že výměníkem neteče voda a zároveň jím prochází pára. Tento ventil je také interlockován na hodnotu parametru „Teplota výměníku Tepla“, který má nastaveny maximální meze a nepřipustí překročení svého technologického limitu. Tento limit bývá obvykle nastaven na maximálně 95 °C, aby nedošlo k varu vody.

Doplňovací a cirkulační ventily jsou navzájem interlockovány negativně. To znamená, když je jeden zapnut, musí být druhý vypnut a naopak. Zároveň je cirkulační a odběrový ventil interlockován s čidlem stavu hladiny vody v nádrži teplé vody. Pokud se dostane hladina vody pod hodnotu parametru „Alarm minimální úroveň“, tak se sepne časovač s parametrem

„Prodleva minimální úrovně“ se signalizací a po jeho uplynutí (řádově desítky sekund) se všechny odběrové i cirkulační ventily musí uzavřít. Na stejném principu funguje doplňovací ventil, ten ale sleduje parametr „Maximální úroveň“ - se signalizací a sepne svůj časovač s parametrem „Prodleva maximální úrovně“ se signalizací, a po jeho proběhnutí se uzavře.

7. Zjednodušení technologického procesu pro laboratorní výuku

Jak název napovídá, jedná se o zjednodušení představeného procesu takovým způsobem, aby mohl být vytvořen model, který by zároveň byl časově zvládnutelný pro výuku v rámci laboratorní výuky. Na simulátoru vytvoříme model tak, aby co nejvíce simuloval reálný systém, ale nesmí být tato simulace zbytečně časově náročná, tedy pro výuku nepoužitelná.

Například simulace stavu nádrže, ve které indikuje čidlo hladiny nádrže hodnotu nad nastavenou hodnotu pouze na krátkou dobu, může být způsobeno například vlnami v nádrži, což má za následek nedokončení intervalu časovače spouštění/zastavení plnění. Tento stav může v reálném provozu nastat tehdy, když se v nádrži vytvoří rázové vlny při vypouštění nebo napouštění, a tak může dojít k dosažení nastavených stavů čidel dříve, než daný stav skutečně nastane.

Pro další zjednodušení modelu zanedbáme dopravní zpoždění způsobené odporem potrubí, vzdáleností a dobou odezvy funkce ventilu na spouštěcí či uzavírací signál. Reálně může překonání vzdáleností při napouštění trvat několik sekund. Toto při simulaci zanedbáme, protože celý proces je již několikrát zrychlen a tyto časy jsou tak zanedbatelné.

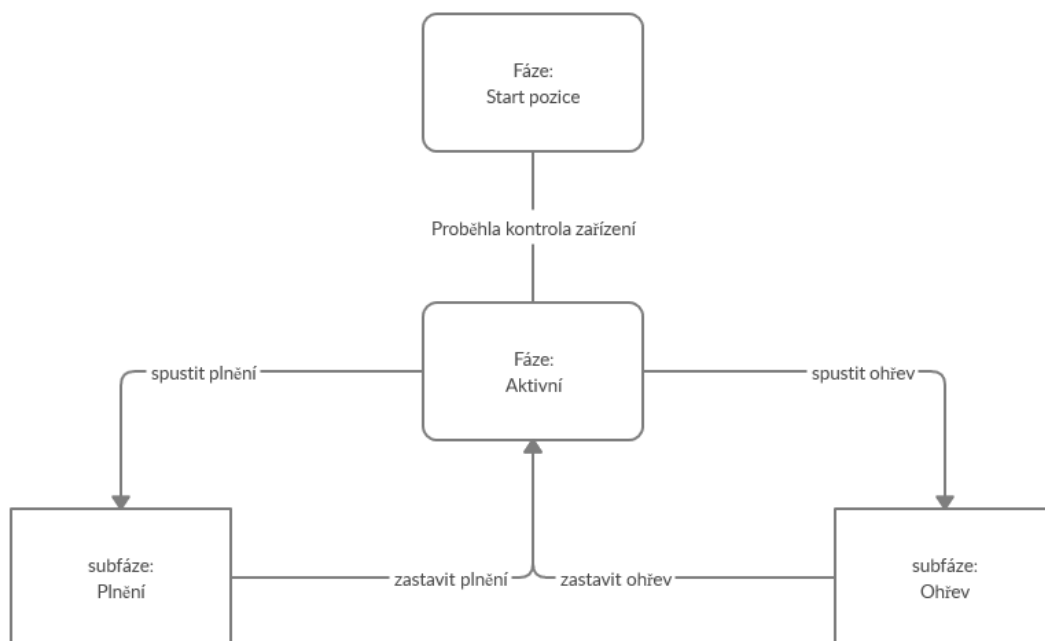
Čidlo průtoku pro výměník tepla může být také zanedbáno ze stejného důvodu, neboť v reálném provozu trvá pouze zlomky sekund od otevření ventilů k dotečení vody do výměníku tepla. Totéž platí pro residuální energii výměníku tepla a pro zpětné tlakové čidlo pro odběr. V praxi zajišťuje tuto funkci zpětná klapka umístěná před čidlem, aby se do potrubí nádrže nemohla dostat jiná kapalina nežli vstupní voda.

Globální varovné signály v simulaci můžeme ignorovat. Nedostatek vody či páry jsou mimo námi řešený systém a nedostatečná úroveň napětí na zařízeních se obtížně simuluje (náhodné výpadky přístrojů v provozu opotřebením, lidskou chybou atd.)

Odběr vody budeme muset nastavit manuálně nebo časovačem, protože výzvy k odběru dalšími subsystémy pivovaru nejsou v této zjednodušené simulaci řešeny.

Vnitřní interlocky v této simulaci platí, neboť je důležité se vyvarovat překročení limitních parametrů v systému jako jsou prázdné nádrže či přehřátý výměník tepla.

7.1. Stavový automat simulovaného procesu WWT



Obrázek 17 Stavový automat simulovaného procesu

Stavový automat vychází ze zjednodušeného technologického procesu.

1. Fáze - Přípravná: Zapnou se všechny simulované aktuátory na několik sekund pro zkontrolování funkčnosti všech přístrojů a jejich signalizace. Poté se přechází do další fáze.
2. Fáze – Aktivní, subfáze Připraveno: Systém se drží v tomto stavu, dokud nejsou splněny podmínky pro spuštění plnění nebo ohřevu vody. V této fázi se může z nádrže teplé vody volně odpouštět teplá voda odběrem. Parní ventil je zapnut, pokud jsou plnicí nebo cirkulační ventily otevřeny, a je regulován oproti nastavené požadované hodnotě teploty výměníku tepla.
3. Subfáze - Plnění: Subfáze je spuštěna po dobu, dokud není splněna podmínka pro zastavení plnění. V této subfázi je otevřen plnicí ventil.
4. Subfáze - Ohřev: Subfáze je spuštěna po dobu, dokud není splněna podmínka zastavení ohřevu vody v nádrži. V této subfázi je otevřen cirkulační ventil.

8. Vytváření simulace v aplikaci ControlWeb 8

Aplikace ControlWeb 8 (dále jen ControlWeb) od obchodní korporace Moravské přístroje a.s., která se od roku 1991 zabývá vývojem a podporou technologických produktů v oblasti elektroniky a programového vybavení, ve kterém tvoříme kompletní řídicí systém tohoto technologického procesu od periférií, programování jednotlivých sekcí, vytváření parametrů ve formě proměnných až po vizualizaci a ovládání samostatné simulace. ControlWeb obsahuje téměř všechny náležitosti PLC, protože se jedná o takzvané SoftPLC, neboli PLC vytvářen na PC. V PC mohou být také nainstalovány I/O (vstupně/výstupní) jednotky v našem případě, pomocí periférie Datalab typu USB. Pro tuto periferní jednotku i pro všechny ostatní musí být nainstalovány jejich náležité ovladače, které zajišťují nepřetržitý chod dat do centrální jednotky, v našem případě do PC. Pro správné přijetí dat aplikací nestačí pouze správný ovladač, ale i parametrický soubor nastavující správné bitové umístění jednotlivých vstupních a výstupních kanálů.

Samotné vytváření simulace bude rozděleno na části, a to v pořadí, v jakém byly uskutečněny.

- Založení aplikace
- Tvorba proměnných v Datovém editoru
- Grafické zobrazení simulace v grafickém editoru
- Programování simulace v Textovém editoru

8.1. Založení aplikace

Novou aplikaci založíme stisknutím tlačítka **Nová** v podliště **Aplikace**, poté se nám otevře vyskakovací okno Průvodce novou aplikací systému ControlWeb.

První okno nemusíme měnit, protože se pouze ptá, jestli chceme založit novou aplikaci, upravit existující nebo vyzkoušet ukázkovou. Zvolíme variantu vytvoření nové aplikace a pokračujeme tlačítkem **Další**. V následujícím okně nastavíme název aplikace a určíme jeho adresář uložení. Pokračujeme dalším oknem, ve kterém nastavíme velikost základního panelu naší aplikace. Velikost může být upravena později, a tak pouze nastavíme zobrazování aplikace uprostřed obrazovky po spuštění. V dalším kroku nastavíme počet panelů potřebných pro naši aplikaci. Tento počet bude v našem případě jeden, naše simulace totiž nezabírá příliš místa a lze ji řešit na jednom panelu. Zkušební (Express) verze je omezena pouze na jeden zobrazený hlavní panel. Dále vybereme způsob, jakým bude aplikace vykreslována. Volíme Direct 2D, protože je to nejlepší možnost pro zobrazení na PC a nepotřebujeme komplexnost Open GL, ve kterém jsou k dispozici i 3D přístroje současně s těmi 2D. Časování aplikace a reálný čas neměníme, protože nám vyhovuje nulové zpoždění dat při čtení/zapisování přes ovladače. Reálně se může aplikace dostat do časového skluzu, a tak ponecháme nastavení 30 sekund na prodlevu programu. V posledním okně již stačí pouze stisknout tlačítko **Dokončit**. Tím máme předvyplněny všechny náležitosti prvotního nastavení aplikace, se kterou můžeme vytvořit simulaci našeho technologického modelu.

8.2. Tvorba proměnných v Datovém editoru

Ve stromové struktuře vybereme položku **Datové elementy**, přidáme nové globální proměnné, v našem případě s názvem hodnoty -> **Skalární**, do kterých přidáváme postupně tyto proměnné:

Tabulka 8: Skalární proměnné

Název	Typ	Počáteční hodnota	Popis
Level	Real	0	Aktuální hladina v hl
Temperature	Real	0	Aktuální teplota v °C
Pressure	Real	0	Aktuální tlak v bar
StartHeating	Real	75	Minimální hodnota ohřátí v °C
StopHeating	Real	90	Požadovaná teplota ohřevu v °C
StartFilling	Real	150	Hladina napouštění v hl
StopFilling	Real	200	Požadovaná hladina v hl
MinimulLevelAlarm	Real	25	Minimální hladina pro vypouštění/cirkulaci v hl
MaximumLevelAlarm	Real	220	Maximální hladina pro napouštění v hl
HeatingPercentage	Real	0	Aktuální hodnota analogového parního ventilu
PressureHWP	Real	2.5	Požadovaný tlak na čerpadle (Hose Water Pump)
CallForWater	Boolean		Odběrový ventil
FillingValve	Boolean		Plnicí ventil
CirculatingValve	Boolean		Cirkulační ventil
HeatingValve	Boolean		Parní ventil

Všechny tyto parametry jsou přednastaveny pro náš technologický proces na reálně používané funkční hodnoty, když považujeme za standardní objem nádrže 230 hl a teplotu oběhového média – teplé vody 90 °C.

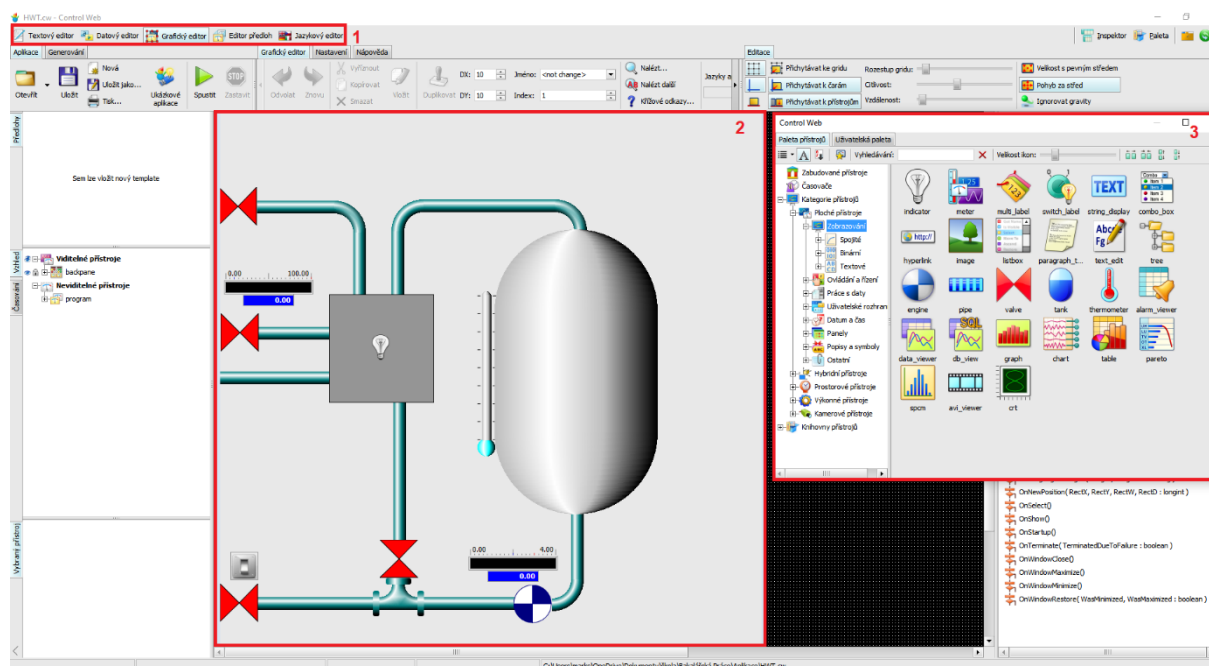
Hodnoty -> **Pole** nastavíme jako jednu proměnnou s názvem Phase.

Tabulka 9: Pole proměnných

Název	Typ	Indexy	Popis
Phase	Boolean	0...3	Fáze stavového automatu

8.3. Tvorba simulace v Grafickém editoru

V levém horním rohu přepneme na **Grafický editor**. Poté se nám v pravém horním rohu vyjasní položka paleta, kterou když stiskneme, otevře se vyskakovací okno s kontrolními a zobrazovací prvky. Ovládacím a zobrazovacím prvkům přidělíme naše proměnné a umístíme je v technologického procesu, a tím budeme mít celý systém zobrazen (v Express verzi omezen počet zařízení na 25 přístrojů).



Obrázek 18: Simulace v Grafickém editoru

1. Lišta obsahující jednotlivé editory
2. Panel, na kterém probíhá simulace technologického procesu
3. Paleta obsahující naše použité přístroje a součástky

Každá součástka má vlastní časování, pro všechny používáme časovač s periodou 0.1 sekundy, což je pro danou aplikaci dostatečné. Žádná součástka nepotřebuje rychlejší obnovovací periodu.

Používáme binární součástky jako jsou ventily, indikátory, motor a trubky. Tyto součástky přijímají pouze stavy true a false (1,0), proto je ovládáme podmínkami, ze kterých vychází tyto logické stavy nebo přímo boolean proměnné.

Ve spojitých přístrojích jako je nádrž, teploměr a digitální měřiče používáme proměnné real. U vodní nádrže je vidět výška hladiny přímo na ní s indikací horních a spodních limit změnou barvy. U spodního limitu je to světle modrá, u horního je to červená, při normálním stavu je tmavě modrá. Obdobně s mezními limity pracují i ostatní spojitě přístroje a mají stejnou barevnou konfiguraci.

8.4. Programování procedur

Po nastavení všech podmínek aktivace prvků systému, výrazů, které jsou přístroji vyhodnocovány, a period aktivace u binárních a spojitých přístrojů, můžeme přejít k samotnému programování procedur. Jako první vytvoříme hlavní program, u kterého na proceduře OnActivate() nastavíme podmínky přechodu mezi jednotlivými fázemi, které obstarává v našem případě proměnná „Phase“, která má typ pole booleanů.

Proměnná „Phase“ přechází z jednotlivých indexů dle daných podmínek. Na konci každého kroku se musí nejdříve nastavit další použitý krok na parametr true a právě používaný krok musí sám svůj parametr nastavit na false, a tím se aktuální krok ukončí. V tomto případě je pořadí důležité. Kdyby právě používaný krok změnil svůj parametr na false dříve, než by se nastavil další krok, přestala by podmínka platit, a všechny indexy proměnné „Phase“ by byly false. Tím bychom se ocitli mimo stavový automat a program by nepokračoval správně. Dalším krokem je nastavení startu stavového automatu. Ten se provede v proceduře hlavního programu OnStartup(), který přivede „Phase“ prvního kroku na hodnotu true, a tak se spustí celý stavový automat. Procedura OnStartup() se provádí pouze jednou při spuštění programu, a tak je ideální pro nastavení počátečních hodnot proměnných.

S nastaveným stavovým automatem můžeme přidávat vlastnosti jednotlivým funkčním členům jako jsou ventily, čerpadlo a výměník tepla. Například plnicí ventil bude mít logicky na starost navyšování hladiny vody v nádrži teplé vody. Přírůstek vody v nádrži při doplňování vody bude menší, když zároveň bude probíhat odběr teplé vody.

Ohřev vody, tedy nárůst její teploty, je řešen ve výměníku tepla a mění se podle způsobu přívodu vody. Tedy zda voda přichází z plnicího ventilu nebo ventilu cirkulačního. Voda přicházející z plnicího ventilu je voda z CWT. Na její ohřev musí být použito více energie páry pro dosažení požadované teploty, a proto má negativní tepelný efekt, neboť snižuje teplotu vody v nádrži teplé vody. Voda přicházející cirkulačním ventilem přes výměník tepla do nádrže teplé vody má pozitivní tepelný efekt, na rozdíl od vody přicházející z plnicího ventilu, a tedy zvyšuje teplotu vody v nádrži teplé vody.

Energie potřebná pro ohřev vody, procházející výměníkem tepla, je získávána z energie páry, která pochází z MBR. Pára má stabilní teplotu, takže rychlost ohřevu vody ve výměníku je dána řízením procházejícího objemu páry pomocí analogového parního ventilu. Úroveň otevření parního ventilu je řízena regulátorem objemu páry, který pracuje v závislosti na teplotě v nádrži a jeho funkce je řízena v závislosti na signálu generovaném simulační deskou. Obdobným způsobem může být řešena regulace tlaku v systému vypouštění nádrže teplé vody, která může být simulována na desce namísto teploty nádrže.

Odběr teplé vody z nádrže teplé vody jsme vytvořili přepínačem, který simuluje žádost o teplou vodu z některých dalších systémů spotřebovávajících teplou vodu. Při odběru teplé vody se snižuje vytvořený tlak čerpadlem a zároveň se snižuje hladina v nádrži na teplou vodu. Odběr vody neomezuje plnění ani cirkulaci, ale musí být držen v přísných limitech teploty odebírané vody. Také se při odběru teplé vody nesmí dostat hladina v nádrži teplé vody pod určitou minimální hodnotu zadanou uživatelem. Pokud se tlak na čerpadle teplé vody dostane pod požadovanou minimální přípustnou hodnotu, musí se ventil uzavřít, aby se nevytvořil


protitlak v odběrovém systému. Protitlak v systému by v reálném technologickém procesu byl zastaven zpětnou klapkou. Protože v naší simulaci neuvažujeme tento technologický prvek systému, ale pouze automatické ovládání, simulujeme jeho funkci automatickým uzavřením odběrového ventilu.

9. Propojení fyzického simulátoru s ControlWeb 8 pomocí periférie DataLab I/O

Periférie DataLab musí být nejdříve připojena k napájení 24 V a poté připojena přes USB konektor k PC, které obstarává simulaci technologického procesu. V aplikaci ControlWeb je poté přidán ovladač v záložce **Datový editor** ve stromu do záložky **Ovladače**.

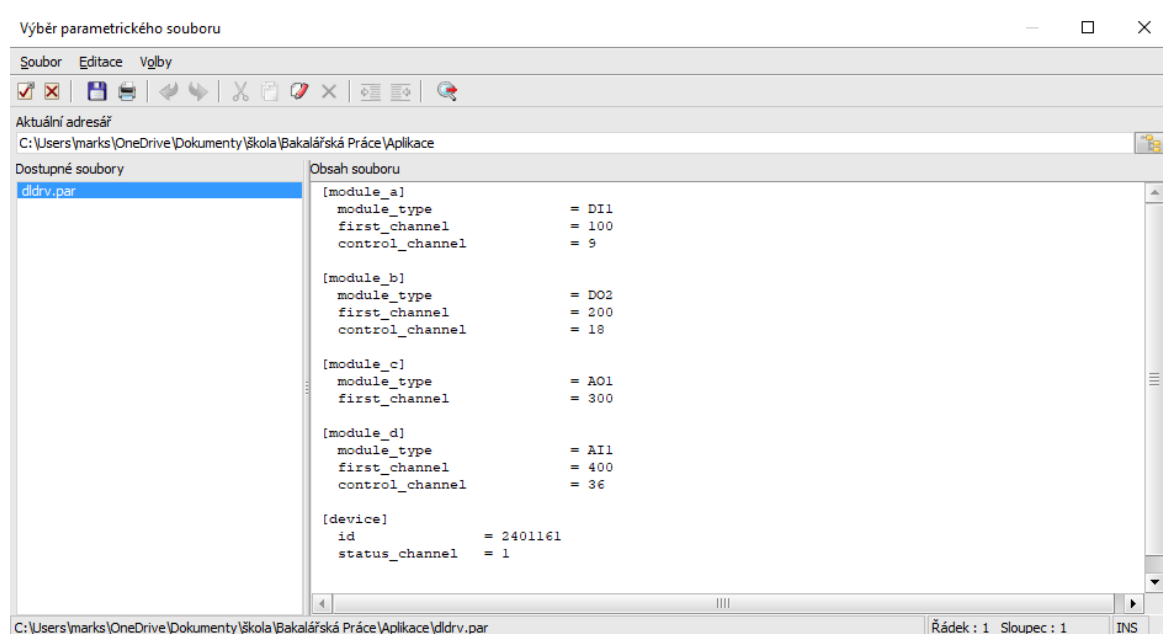
9.1. Ovladače

Ovladače slouží k obsluze I/O zařízení. Ovladač musí mít unikátní jméno, parametrický nebo mapovací soubor.

Ovladače	
 Ovladače slouží pro obsluhu V/V zařízení. Každý ovladač musí mít definováno unikátní jméno, parametrický soubor a případně i mapovací soubor.	
Parametr	Hodnota
Jméno	DataLabIO
Ovladač	Control Web DataLab IO Driver v.7.0.14
Parametrický soubor	dldrv.par
Mapovací soubor	<
Mód	run
Skrytý	false

Obrázek 19: Přidání periférie DataLab IO/USB do aplikace ControlWeb 8

V PC musí být již dostupný správný ovladač pro Datalab. V tomto případě Control Web DataLab IO Driver v.7.0.14. Dále musíme zajistit, aby naše kanály byly správně parametrizované. Parametrizaci uskutečníme přidáním parametrického souboru.



Obrázek 20: Výběr parametrického souboru v aplikaci ControlWeb 8

Tento parametrický soubor určí indexaci modulů, které se na naší použité Datalab periférii nachází. Moduly A a B jsou digitální vstupy/výstupy. Tyto moduly nevyužíváme v naší aplikaci. Moduly C a D jsou analogové vstupy/výstupy, které jsou připojeny na náš simulátor a posílají/přijímají napětí simulátoru. Napětí se poté mění D/A a A/D převodníky na použitelné bity. Vysvětlení převodu bude v podkapitole standardizace a destandardizace.

9.2. Kanály

Kanál je vazba mezi aplikací a I/O zařízením. Vlastní komunikaci zařizuje ovladač. V našem případě nám stačí dva kanály, jeden vstupní a jeden výstupní. Vybereme si první kanály C1 a D1.

Parametr	Hodnota	Popis
name	ch_AO_01	Jméno
type	real	Datový typ
init_value		Počáteční hodnota
driver	DataLabIO	Ovladač
driver_index	300	Číslo kanálu ovladače
direction	output	Směr
timeout		Prodleva komunikace
comment	'AO1 input Data Channel No. 0'	Komentář
color		Barva
mask		Zobrazovací maska pro zobrazení čísel
dead_band		Citlivost na změnu hodnoty
backupid		Zálohování elementu nebo elementů sekce
lo_range		Spodní hodnota rozsahu elementu
hi_range		Horní hodnota rozsahu elementu
modulo_arithmetic		Hodnota elementu při převodech číselných typů respektuje bitovou reprezentaci zdrojového čísla
passive		Datový element nebude aktivovat přístroje, které jej používají jako vstup
send_same_data		Způsob zápisu shodných dat
user0		Uživatelský text 1
user1		Uživatelský text 2

Obrázek 21: Nastavení kanálu v aplikaci ControlWeb 8

Každý kanál musí mít unikátní jméno, správně přiřazený ovladač a číslo kanálu ovladače. Čísla kanálů jsou nastavena v parametrickém souboru a je možné je vyčíst z konfigurace ovladače.

9.3. Standardizace a destandardizace vstupních/výstupních veličin

Vytvoříme proměnné reprezentující naše vstupní a výstupní veličiny (Output a Input), pro které nastavíme rozsah od 0-100, které určují požadovaný procentuální výkon. Do hlavního programu vložíme (de)standardizaci vstupní a výstupní veličiny. První je D/A převodník v modulu analogových výstupů C, má rozlišení 12 bitů (4096 hodnot – 10,24 V). My máme na proměnné pouze 100 hodnot a pokud chceme použít celý rozsah napětí 0-10 V našeho technologického simulátoru, musíme vynásobit naši proměnnou čtyřiceti (4000 hodnot – 10 V).

$$ch_AO_01 = hodnoty.Input * 40;$$

Poté musíme převést přes sigma-delta A/D převodník hodnoty ze simulátoru zpět na použitelné hodnoty. Modul analogových vstupů D převádí signál na ± 32767 hodnot. Potřebujeme z těchto hodnot vytvořit hodnoty pro rozsah 0-100, a tak musíme podělit naše výchozí hodnoty počtem hodnot v kladné části a vynásobit 200, protože náš rozsah na vstupu C1 je 0-24 V a my jej nevyužíváme celý s naším simulátorem s rozsahem 0-10 V.

$$hodnoty.Output = ch_AI_01/32767 * 200$$

Propojení Datalabu s fyzickým simulátorem je jednoduché. Stačí připojit analogový výstup C1 na vstup simulátoru a výstup simulátoru připojit na vstup D1. Poté otočným přepínačem a jumpery můžeme vybrat typ systému, který chceme regulovat.

10. Vzorová laboratorní úloha s řešením

Cílem této laboratorní úlohy je simulace řízení zadaného technologického procesu. Zadaný technologický proces obsahuje ohřev a dodávku teplé vody z nádrže teplé vody do systému pivovaru. Součástí úlohy je návrh a implementace regulátoru teploty vody výměníku tepla před vstupem do nádrže teplé vody. Tento systém má čtyři subsystémy – plnění nádrže, ohřev výměníkem tepla, cirkulace a odběr teplé vody systémem. Cílovým produktem této laboratorní úlohy je simulace plnění, ohřevu, cirkulace a odběru teplé vody z nádrže teplé vody, a to při splnění podmínky odběru, kterou je požadovaná teplota vody v nádrži.

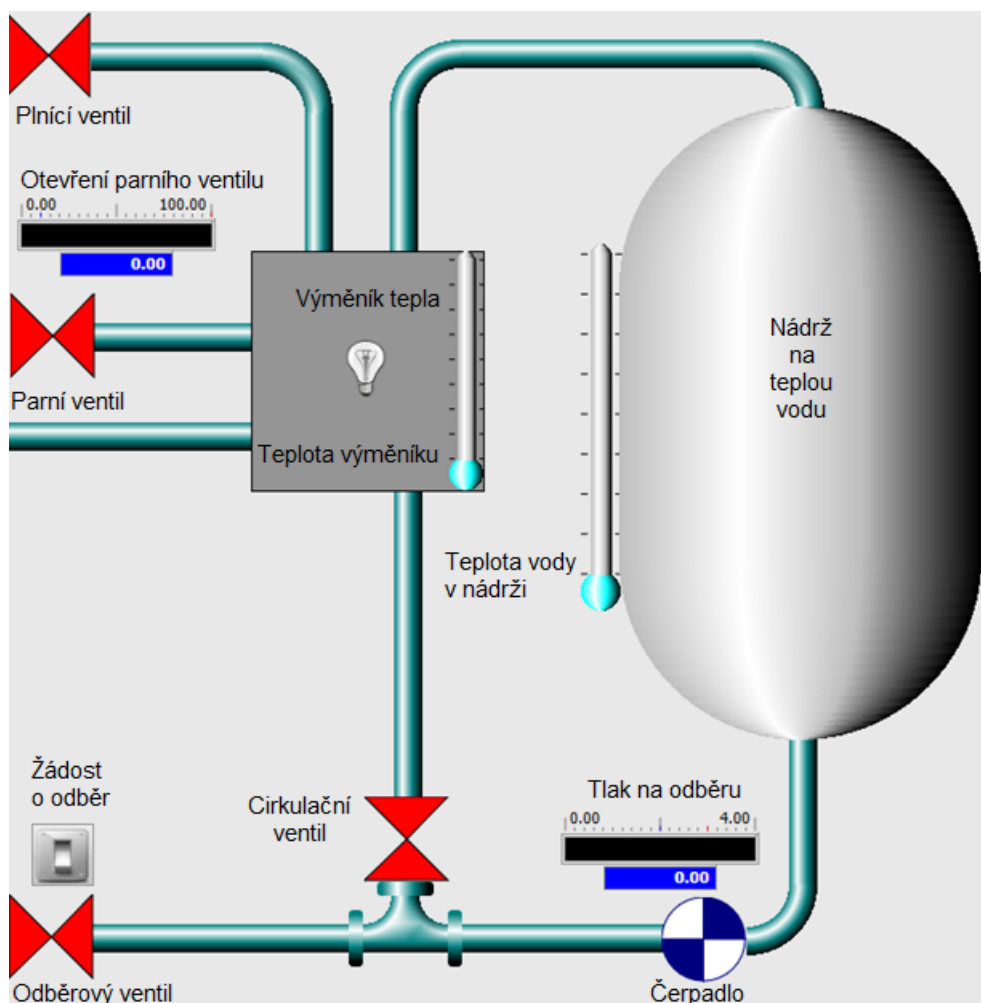
10.1. Popis procesu

V této úloze se jedná o nádrž teplé vody, kde je čidly sledována výška hladiny naplnění nádrže a teplota vody v nádrži. Při spuštění je nádrž prázdná a začíná se plnit studenou vodou, která je ohřívána výměníkem tepla. Po dosažení maximální požadované hladiny simulace zkontroluje teplotu vody a pokud není na požadované výši, musí simulace zapnout subsystém cirkulace, který vede vodu z nádrže teplé vody přes výměník tepla zase zpět do nádrže teplé vody. Na vstupu páry do výměníku tepla simulace řídí analogický ventil zajišťující potřebný objem páry, která svojí tepelnou energií ohřívá plněnou/cirkulovanou vodu. Simulace nesmí umožnit překročení teplotních limitů ve výměníku tepla a nádrži vody. Na výstupu teplé vody z nádrže teplé vody musí čerpadlo vody vytvořit dostatečný tlak pro cirkulaci i odběr vody.

10.2. Funkční popis

1. Start programu: nádrž na teplou vodu je prázdná, tlak vody na výstupu z čerpadla je nulový.
2. Je spuštěno plnění nádrže vodou plnicím ventilem. Zároveň začíná ohřev této vody ve výměníku tepla parou přiváděnou přes ventil páry, který je řízený „on-off“ regulátorem. Plnění vody probíhá až do dosažení požadované úrovně hladiny v nádrži teplé vody. Od úrovně minimální hladiny naplnění nádrže teplé vody začíná tlakování výstupu teplé vody z této nádrže pomocí čerpadla.
3. Jakmile je nádrž teplé vody naplněna, porovná simulace teplotu vody s požadovanou teplotou vody v této nádrži, a když je menší, začne cirkulační ohřev, za podmínky, že je dosažen dostatečný tlak vody na výstupu z této nádrže. Cirkulace vody probíhá, dokud teplota vody nedosáhne požadované nastavené hodnoty.
4. Při splnění všech podmínek (minimální hladiny vody, minimální teplota vody a minimální tlak vody na výstupu z nádrže teplé vody) se může provádět odběr teplé vody manuálním tlačítkem.
5. Při odběru teplé vody z nádrže teplé vody se buď může voda plnit plnicím ventilem nebo dohřívát cirkulačním ventilem. Simulace udržuje v nastavených mezích tlak vody na výstupu z nádrže teplé vody průběžně. Pokud není splněna některá z těchto podmínek: tlak na výstupu, teplota či hladina vody v nádrži, simulace odběr teplé vody přeruší.

10.3. Funkční vizualizace



Obrázek 22: Systém ohřevu a distribuce teplé vody

Obrázek 16 je reprezentací technologického procesu ohřevu a dodávky teplé vody v pivovaru, kterou se snažíme nasimulovat.

Plnicí ventil zajišťuje přísun studené vody do nádrže (objem za čas vody nastavíme alespoň na 5hl/sek), tato voda je předeřhřátá ve výměníku tepla, v této fázi by teplota vody vycházející z výměníku tepla neměla přesahovat 80 °C. Nádrž na teplou vodu má objem 230hl. Čerpadlo zvládne udržet tlak na 2 bary při soustění obou výstupních ventilů (odběrového a cirkulačního). Cirkulační ventil zajišťuje dohřívání vody z nádrže přes výměník tepla. Odběrový ventil nám odebírá vodu z nádrže pro použití mimo simulovaný systém a má menší odběr objemu vody za čas než plnicí ventil. Pára z parního ventilu zajišťuje ohřátí vody ve výměníku

10.4. Pokyny a upřesnění zadání

V této úloze je hlavním cílem dosažení simulace systému a jeho regulace pomocí „on-off“ regulátoru. Ohřev vody v simulované soustavě je simulován fyzickým simulátorem připojeným na vstupně/výstupní zařízení DataLab IO. Aby bylo možno pro tento systém

vytvořit regulátor, musíme nejdříve zjistit přechodovou charakteristiku řízeného systému, z přechodové charakteristiky určit řád systému, a poté pro tuto soustavu navrhnout „on-off“ regulátor. Vstup do soustavy $-u(t)$ je veden z ControlWebu přes modul periferie Datalab C1 do fyzického simulátoru, který vyhodnotí výstup ze soustavy $-y(t)$ do modulu D1.

Standardizace vstupní hodnoty do ControlWebu odpovídá úrovni otevření parního ventilu (0-100) %. Destandardizace výstupní hodnoty odpovídá teplotě vody vycházející z výměníku tepla (0-100) °C.

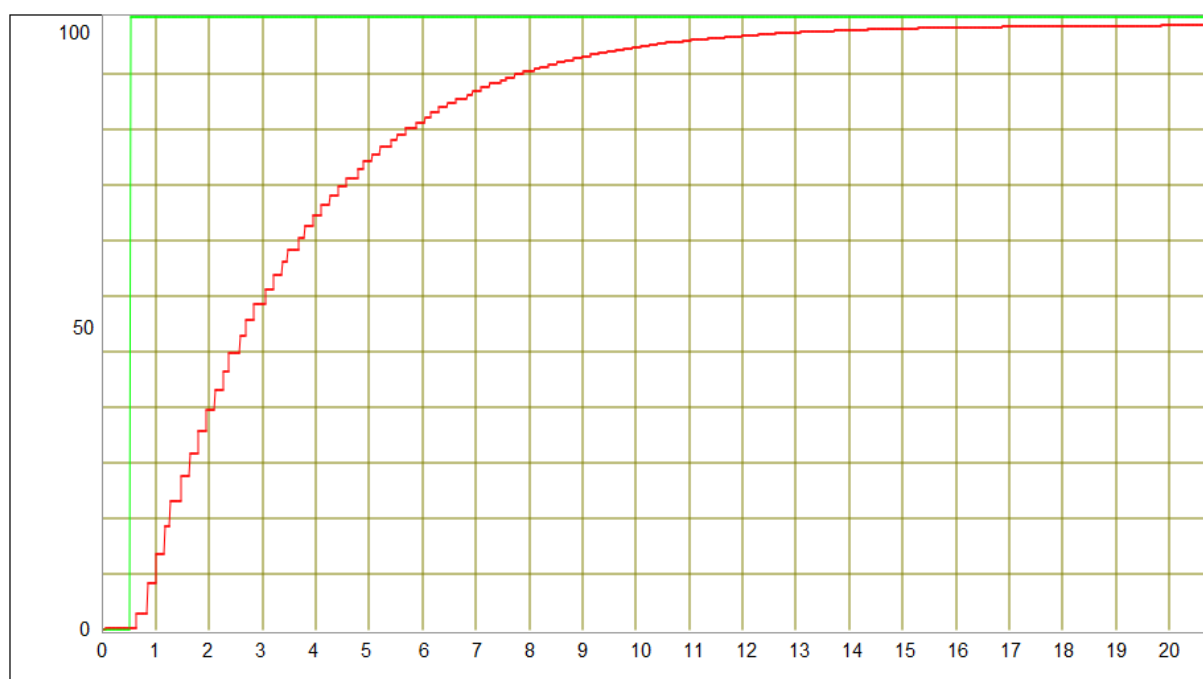
K zobrazení přechodové charakteristiky můžeme využít přístroj chart, u kterého nastavíme items a vyplníme námi sledované stavy.

Item	Položka seznamu			
Keyword/DataElement	expression	color	line_width	static
Input	hodnoty.Input	lgreen	1	false
Output	hodnoty.Output	ired	1	false
<přidat>	<přidat>	<přidat>	<přidat>	<přidat>

Obrázek 23: Nastavení přístroje chart

Tato přechodová charakteristika byla změřena při následujícím zapojení:

JP1 pozice 12, JP2 pozice 23, JP5 celý, JP7 celý, otočný přepínač 1 na pozici 8 (330k Ω), otočný přepínač 2 na pozici 4 (330k Ω), otočný přepínač 3 na pozici 1 (0 Ω), otočný přepínač 5 na pozici 1 (0 Ω).



Obrázek 24: Přechodová charakteristika systému

Čas je uvedený v sekundách na ose x. Hodnota vstupu je zobrazena zeleně (0-100)% otevření ventilu a hodnota výstupu je zobrazena červeně (0-100) °C výměníku tepla.

Regulátor parního ventilu navrhne tak, aby reguloval na zadanou hodnotu teploty vody x ve výměníku tepla, kterou si v proměnných nastavíme na požadovanou hodnotu (stejnou/větší než požadovanou hodnotu teploty vody v nádrži teplé vody). Zvolíme vhodnou hysterezi h regulátoru s ohledem na periodu spínání T . Perioda spínání by neměla být častější než 0.5 sekundy s ohledem na technologickou životnost reálného zařízení.

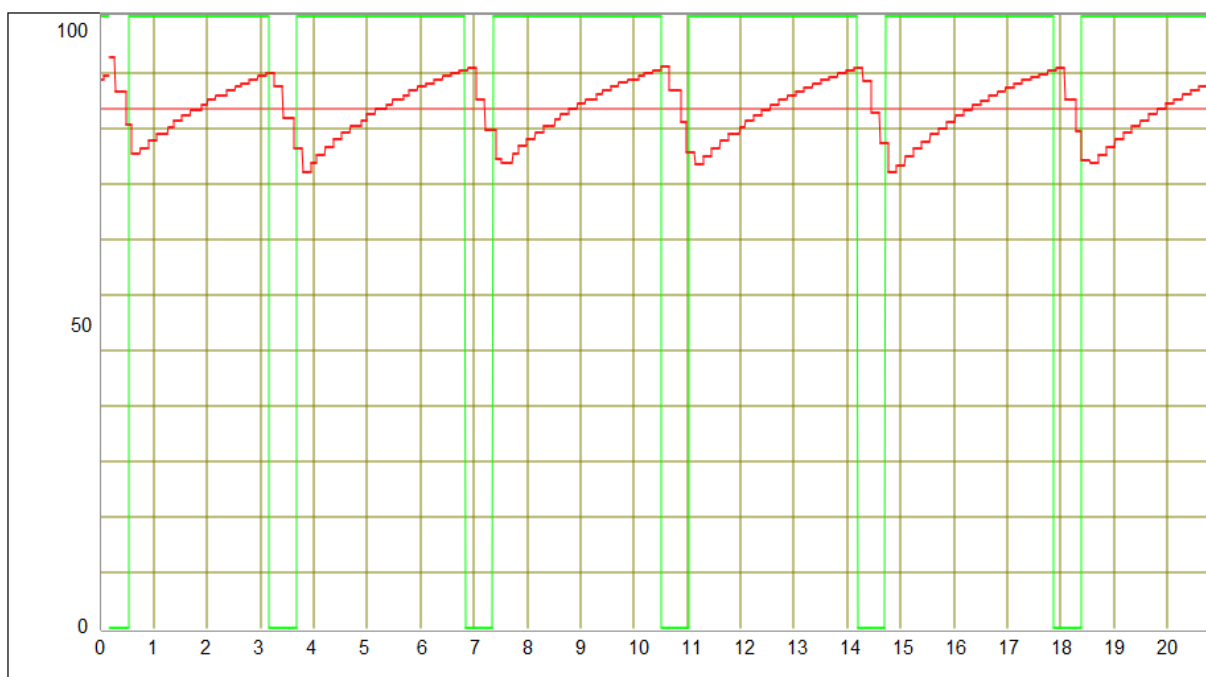
10.5. Řešení

Ze závěrů předešlých kapitol lze vyvodit zapojení jednotlivých přístrojů, programování jejich procedur a spojení s periférií Datalab IO. Řešení „on-off“ regulátoru v souladu s požadavky úlohy je vyřešeno takto:

```
procedure OnActivate();  
begin  
  hodnoty.HeatingPercentage = hodnoty.Input;  
  if hodnoty.heatingValve and (hodnoty.HeatexchangerTemp < 90) and (hodnoty.Temperature <= hodnoty.StopHeating)  
  then  
    hodnoty.Input = 100;  
  else  
    hodnoty.Input = 0;  
  end  
end  
end_procedure;
```

Obrázek 25: Nastavení "on-off" regulátoru

Odezva regulačního obvodu s „on-off“ regulátorem na skokovou změnu požadované hodnoty vypadá následovně



Obrázek 26: Přechodová charakteristika "on-off" regulátoru

Čas je uvedený v sekundách na ose x. Hodnota vstupu je zobrazena zeleně (0-100)% otevření ventilu a hodnota výstupu je zobrazena červeně (0-100) °C výměníku tepla.

Regulátor udržuje teplotu výměníku tepla v okolí nastavené hodnoty teploty ve výměníku tepla. To zajišťuje, že se výměník nepřehřeje a může být nepřetržitě používán. Celé aplikační řešení se nachází v příloze 4 jako spustitelný program HWT.cw.

11. Závěr

Ve své práci na téma Laboratorní model pro simulaci řízení jednoduchého technologického procesu jsem si dal za cíl rozšíření použitelnosti fyzického simulátoru základních dynamických systémů v laboratoři a eliminování možné nalezené chyby z původním návrhu a provedení tak, aby byl výsledný simulátor použitelný v laboratořích pro studenty VUT FEKT, spadající pod UAMT nebo k jinému laboratornímu využití. Dalším cílem byl výběr vhodného technologického procesu, jež byl simulován ve vzorové laboratorní úloze, která je součástí této bakalářské práce.

V první části této práce jsem zjistil, jak funguje původní simulátor základních technologických procesů a jakým způsobem je navržen. Vyhledal jsme kritické stavy, které na simulátoru nastávají, a poté jsme diskutovali o možných změnách a vylepšeních s vedoucím práce. Provedl jsem potřebné změny a zprovoznil nový upravený simulátor. Obvodové řešení bylo vytvořeno v programu Autodesk Eagle.

Vyhledal a vybral jsem vhodný technologický proces pro simulaci – „Technologický proces ohřevu a dodávky teplé vody do systému pívovaru z nádrže teplé vody“ a jeho funkci jsem popsal se všemi detaily, které se týkají reálného provozu. Popsal jsem jeho standardní činnost i jakékoliv výjimky týkající se této části provozu pívovaru.

Následně jsem tento technologický proces zjednodušil pro laboratorní výuku studentů, ve které je možno zanedbat nelineárnosti přístrojů a snímačů. Většina manuálních prvků je vypuštěna ze simulace, i když do reálného provozu významně zasahují. Některé manuální prvky, které jsou nenahraditelné, jsou buď upraveny na automatické prvky ovládané proměnnými nebo skryty v jiných automatických prvcích.

Po zjednodušení technologického procesu jsem následně vytvořil jeho simulaci v aplikaci ControlWeb 8. V této části byla vytvořena celá realizace simulace a vizualizace od založení, vytváření daných proměnných, práce v grafickém prostředí, až po programování samotných procedur a hlavního programu.

Dále jsem naprogramoval zjednodušený technologický proces, jenž je připojen přes vstupně/výstupní periférii DataLab IO/USB na simulátor, který simuluje ohřev vody ve výměníku tepla v závislosti na míře otevření parního ventilu.

Regulátor starající se o řízení teploty jsem zadal a vytvořil v poslední kapitole, která se zabývá vzorovou laboratorní úlohou. Ta obsahuje zadání, popis procesu, funkční popis, funkční vizualizaci, pokyny a upřesnění dalšího postupu a řešení. Tato vzorová úloha je přidána jako příloha bez jejího řešení.

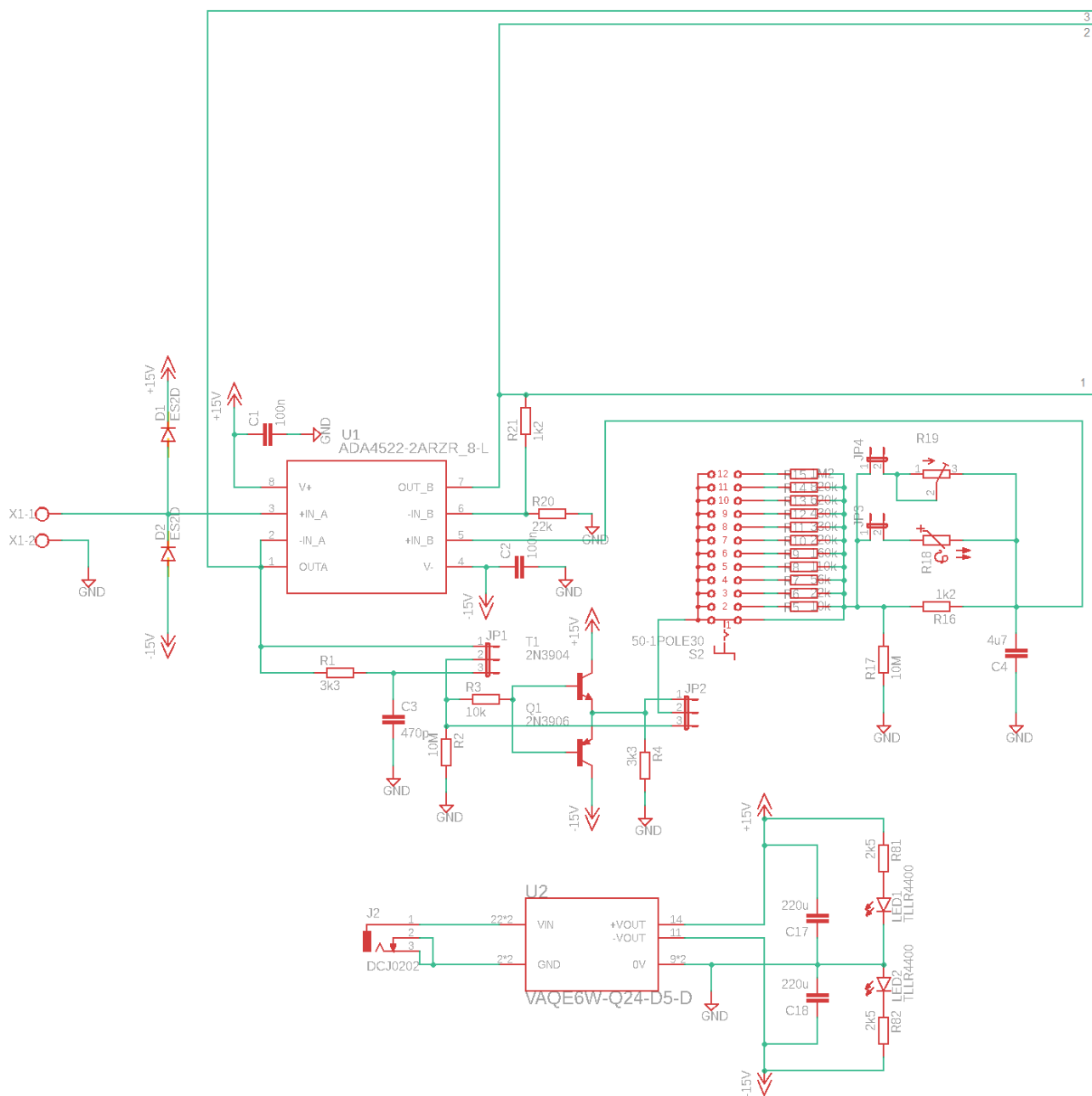
Literatura

- [1] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 5. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-730-0059-8.
- [2] PACAL, Stanislav. *Realizace laboratorního modelu pro demonstraci řízení jednoduchých technologických procesů* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119065>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Miroslav Jirgl.
- [3] JIRGL, Miroslav a Jakub ARM. *Laboratorní cvičení BPPA -II*. FEKT VUT v Brně, 2016.
- [4] 3223 - 3 mm SMD Trimpot® Trimming Potentiometer [online]. Copyright © Bourns [cit. 25.01.2020]. Dostupné z: <https://www.bourns.com/data/global/PDFs/3223.PDF>
- [5] *Srovnávací test kondenzátorů pro výstup DC/DC měničů. Aktuálně na DPS* [online]. Copyright © 2020 DPS Elektronika od A do Z. [cit. 25.01.2020]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/soucastky/id:6969/srovnavaci-test-kondenzatoru-pro-vystup-dc-dc-menicu>
- [6] *Analog Devices EMI Enhanced, Zero Drift, Ultralow Noise, Rail-to-Rail Output Operational Amplifiers* [online]. Copyright © Analog Devices [cit. 25.01.2020]. Dostupné z: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADA4522-1_4522-2_4522-4.pdf
- [7] SNE 2151 *Společná norma pro elektrotechniku – Obrazce pájecích plošek pro povrchovou montáž, konfigurace a konstrukční pravidla*, Společné normalizační středisko při Tesla Telekomunikace, Praha 1992
- [8] HIRMER, Wolfgang. *Process Description: Water plant production. Revision 1.0*. Krones, 2018.
- [9] BAREITHER, M. *P&ID WARM WATER TANK*. Krones, 2018.
- [10] *Ovladač DataLab IO pro Control Web*. Moravské přístroje, 2020. Dostupné také z: <https://www.mii.cz/download/datalab/cze/dldrv.pdf>
- [11] *Vítejte ve světě rychlého vývoje aplikací*. Moravské přístroje, 2010.

Seznam příloh

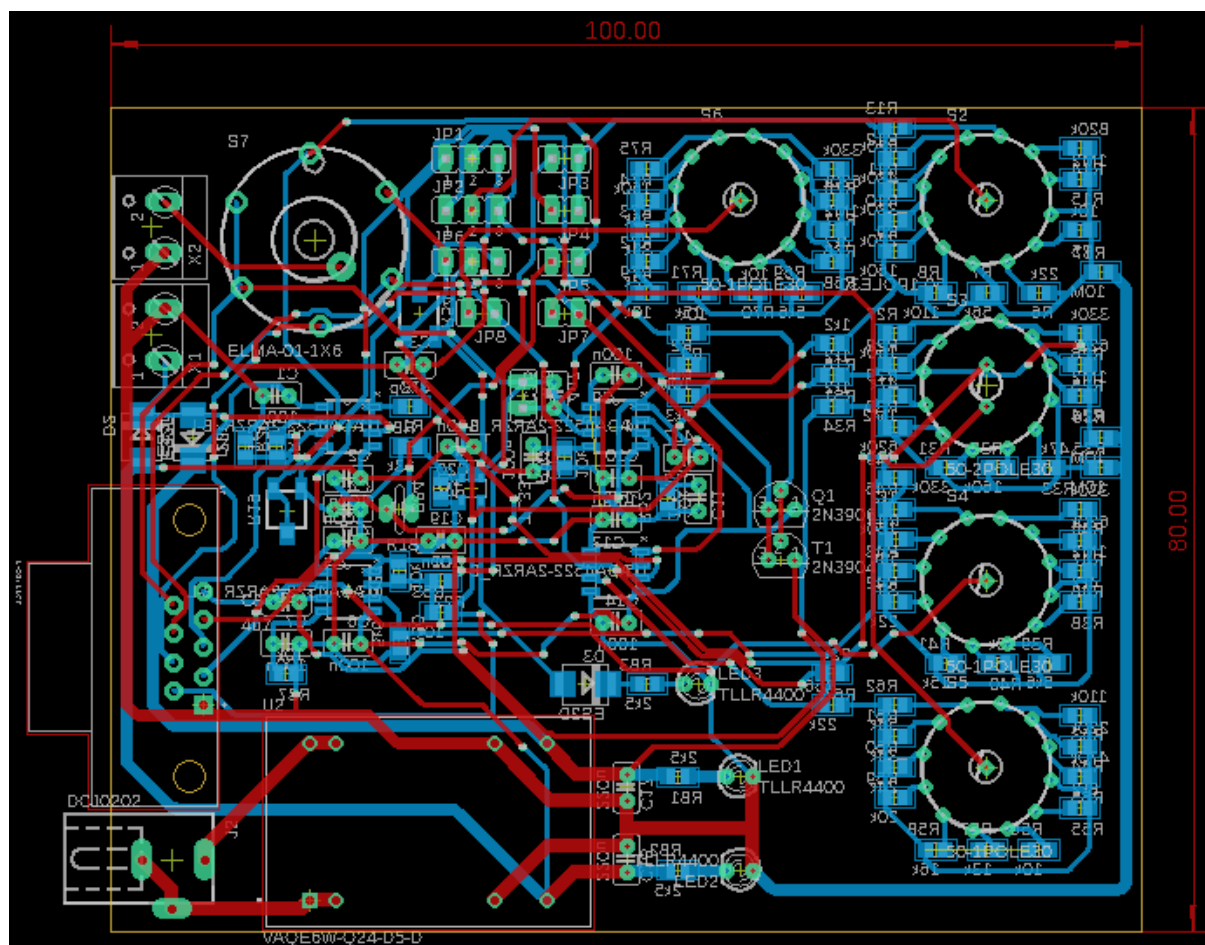
- Příloha 1. Obrázky schématického zapojení v aplikaci Autodesk Eagle
- Příloha 2. Obrázek půdorysu desky fyzického simulátoru v Autodesk Eagle
- Příloha 3. Zadání vzorové laboratorní úlohy
- Příloha 4. Simulace vytvořená v aplikaci ControlWeb 8 je uložena na přiloženém CD
- Příloha 5. Všechny soubory náležící DPS uloženy na přiloženém CD
- Příloha 6. Grafy z testování DPS v programu ControlWeb 8 za pomoci DataLab IO jsou uloženy na přiloženém CD

Příloha 1: Obrázky schématického zapojení fyzického simulátoru v aplikaci Autodesk Eagle





Příloha 2: Obrázek půdorysu desky fyzického simulátoru v Autodesk Eagle



Vzorová laboratorní úloha

Cílem této laboratorní úlohy je simulace řízení zadaného technologického procesu. Zadaný technologický proces obsahuje ohřev a dodávku teplé vody z nádrže teplé vody do systému pivovaru. Součástí úlohy je návrh a implementace regulátoru teploty vody výměníku tepla před vstupem do nádrže teplé vody. Tento systém má čtyři subsystémy – plnění nádrže, ohřev výměníkem tepla, cirkulace a odběr teplé vody systémem. Cílovým produktem této laboratorní úlohy je simulace plnění, ohřevu, cirkulace a odběru teplé vody z nádrže teplé vody, a to při splnění podmínky odběru, kterou je požadovaná teplota vody v nádrži.

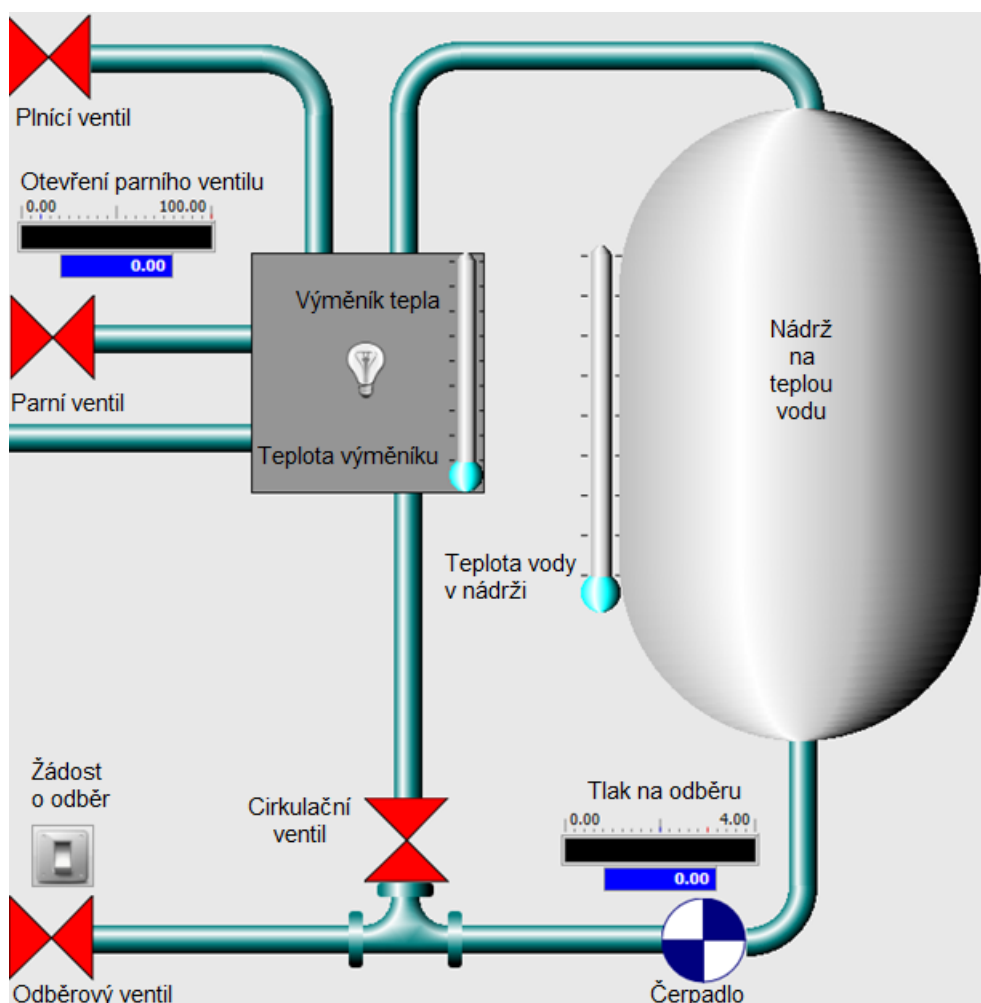
Popis procesu

V této úloze se jedná o nádrž teplé vody, kde je čidly sledována výška hladiny naplnění nádrže a teplota vody v nádrži. Při spuštění je nádrž prázdná a začíná se plnit studenou vodou, která je ohřívána výměníkem tepla. Po dosažení maximální požadované hladiny simulace zkontroluje teplotu vody a pokud není na požadované výši, musí simulace zapnout subsystém cirkulace, který vede vodu z nádrže teplé vody přes výměník tepla zase zpět do nádrže teplé vody. Na vstupu páry do výměníku tepla simulace řídí analogický ventil zajišťující potřebný objem páry, která svojí tepelnou energií ohřívá plněnou/cirkulovanou vodu. Simulace nesmí umožnit překročení teplotních limitů ve výměníku tepla a nádrži vody. Na výstupu teplé vody z nádrže teplé vody musí čerpadlo vody vytvořit dostatečný tlak pro cirkulaci i odběr vody.

Funkční popis

6. Start programu: nádrž na teplou vodu je prázdná, tlak vody na výstupu z čerpadla je nulový.
7. Je spuštěno plnění nádrže vodou plnicím ventilem. Zároveň začíná ohřev této vody ve výměníku tepla parou přiváděnou přes ventil páry, který je řízený „on-off“ regulátorem. Plnění vody probíhá až do dosažení požadované úrovně hladiny v nádrži teplé vody. Od úrovně minimální hladiny naplnění nádrže teplé vody začíná tlakování výstupu teplé vody z této nádrže pomocí čerpadla.
8. Jakmile je nádrž teplé vody naplněna, porovná simulace teplotu vody s požadovanou teplotou vody v této nádrži, a když je menší, začne cirkulační ohřev, za podmínky, že je dosažen dostatečný tlak vody na výstupu z této nádrže. Cirkulace vody probíhá, dokud teplota vody nedosáhne požadované nastavené hodnoty.
9. Při splnění všech podmínek (minimální hladiny vody, minimální teplota vody a minimální tlak vody na výstupu z nádrže teplé vody) se může provádět odběr teplé vody manuálním tlačítkem.
10. Při odběru teplé vody z nádrže teplé vody se buď může voda plnit plnicím ventilem nebo dohřívat cirkulačním ventilem. Simulace udržuje v nastavených mezích tlak vody na výstupu z nádrže teplé vody průběžně. Pokud není splněna některá z těchto podmínek: tlak na výstupu, teplota či hladina vody v nádrži, simulace odběr teplé vody přeruší.

Funkční vizualizace



Obrázek 27: Systém ohřevu a distribuce teplé vody

Obrázek 16 je reprezentací technologického procesu ohřevu a dodávky teplé vody v pivovaru, kterou se snažíme nasimulovat.

Plnicí ventil zajišťuje přísun studené vody do nádrže (objem za čas vody nastavme alespoň na 5hl/sek), tato voda je předehřátá ve výměníku tepla, v této fázi by teplota vody vycházející z výměníku tepla neměla přesahovat 80 °C. Nádrž na teplou vodu má objem 230hl. Čerpadlo zvládne udržet tlak na 2 bary při soustění obou výstupních ventilů (odběrového a cirkulačního). Cirkulační ventil zajišťuje dohřívání vody z nádrže přes výměník tepla. Odběrový ventil nám odebírá vodu z nádrže pro použití mimo simulovaný systém a má menší odběr objemu vody za čas než plnicí ventil. Pára z parního ventilu zajišťuje ohřátí vody ve výměníku

Pokyny a upřesnění zadání

V této úloze je hlavním cílem dosažení simulace systému a jeho regulace pomocí „on-off“ regulátoru. Ohřev vody v simulované soustavě je simulován fyzickým simulátorem připojeným na vstupně/výstupní zařízení DataLab IO. Aby bylo možno pro tento systém

vytvořit regulátor, musíme nejdříve zjistit přechodovou charakteristiku řízeného systému, z přechodové charakteristiky určit řád systému, a poté pro tuto soustavu navrhnout „on-off“ regulátor. Vstup do soustavy $-u(t)$ je veden z ControlWebu přes modul periferie Datalab C1 do fyzického simulátoru, který vyhodnotí výstup ze soustavy $-y(t)$ do modulu D1.

Standardizace vstupní hodnoty do ControlWebu odpovídá úrovni otevření parního ventilu (0-100) %. Destandardizace výstupní hodnoty odpovídá teplotě vody vycházející z výměníku tepla (0-100) °C.

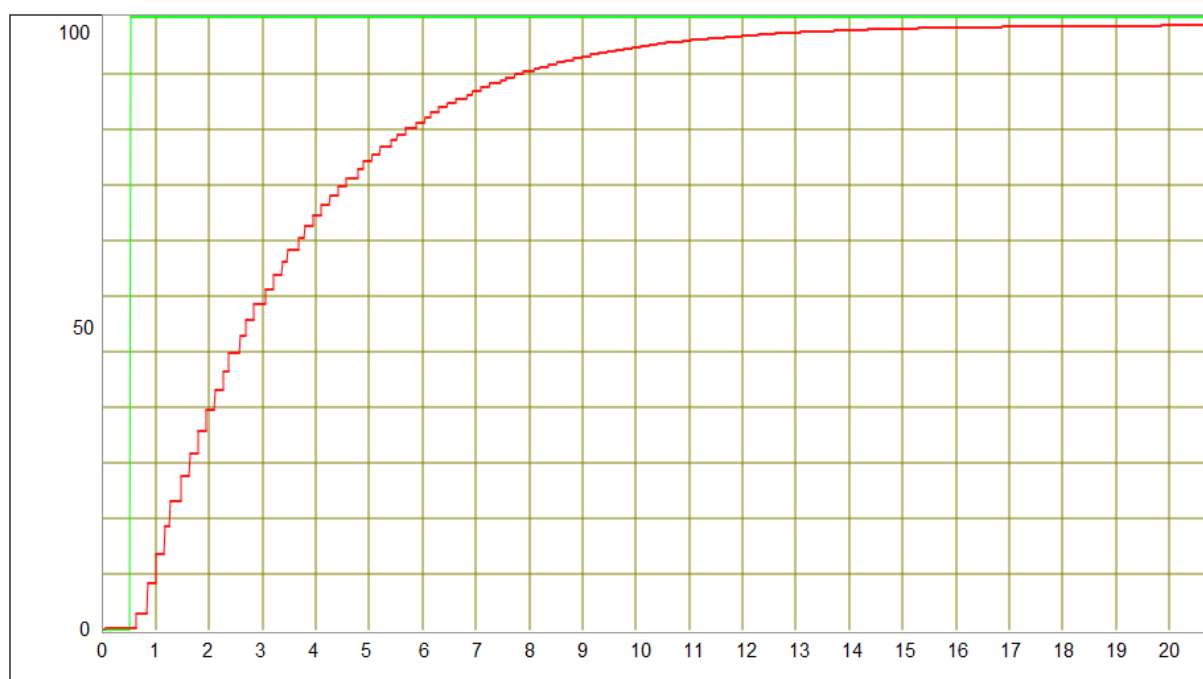
K zobrazení přechodové charakteristiky můžeme využít přístroj chart, u kterého nastavíme items a vyplníme námi sledované stavy.

Item	Položka seznamu			
Keyword/DataElement	expression	color	line_width	static
Input	hodnoty.Input	lgreen	1	false
Output	hodnoty.Output	ired	1	false
<přidat>	<přidat>	<přidat>	<přidat>	<přidat>

Obrázek 28: Nastavení přístroje chart

Tato přechodová charakteristika byla změřena při následujícím zapojení:

JP1 pozice 12, JP2 pozice 23, JP5 celý, JP7 celý, otočný přepínač 1 na pozici 8 (330k Ω), otočný přepínač 2 na pozici 4 (330k Ω), otočný přepínač 3 na pozici 1 (0 Ω), otočný přepínač 5 na pozici 1 (0 Ω).



Obrázek 29: Přechodová charakteristika systému

Čas je uvedený v sekundách na ose x. Hodnota vstupu je zobrazena zeleně (0-100)% otevření ventilu a hodnota výstupu je zobrazena červeně (0-100) °C výměníku tepla.

Regulátor parního ventilu navrhne tak, aby reguloval na zadanou hodnotu teploty vody x ve výměníku tepla, kterou si v proměnných nastavíme na požadovanou hodnotu (stejnou/větší než požadovanou hodnotu teploty vody v nádrži teplé vody). Zvolíme vhodnou hysterezi h regulátoru s ohledem na periodu spínání T . Perioda spínání by neměla být častější než 0.5 sekundy s ohledem na technologickou životnost reálného zařízení.